

Aus der Klinik für Strahlenheilkunde
der Medizinischen Fakultät der Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Prozessmanagement in der Computertomographie unter Anwendung der Netzplantechnik

Zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät der Charité –
Universitätsmedizin Berlin

von

Fabian Neumann

aus Wiesbaden

Dekan: Prof. Dr. med. Martin Paul

Gutachter: 1. PD Dr. med. Johannes Böck
 2. PD Dr. med. Uwe Keske
 3. Prof. Dr. med. Hermann Steinkamp

Datum der Promotion: 21. Januar 2005

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	7
1.1	Projektplanung mit Netzplantechnik	7
1.2	Netzplantechnik im Gesundheitswesen	7
1.2.1	Qualitätsmanagement im Gesundheitswesen	9
1.2.2	Zeitmanagement in der Diagnostischen Radiologie	10
1.3	Anforderungen an das Prozessmanagement	11
1.4	Netzplanmethoden im Überblick	13
1.4.1	Geschichte der Netzpläne	13
1.4.2	Einsatz der Netzplantechnik im Gesundheitswesen	15
1.4.3	Einsatz der Netzplantechnik in der Diagnostischen Radiologie	16
1.5	Fragestellung	17
2	MATERIAL UND METHODEN	18
2.1	Arbeitsplätze	18
2.2	Patientenkategorien	20
2.3	Untersuchungskategorien	20
2.4	Erstellen des Prozessmodells	21
2.5	Phase I - Strukturermittlung	22
2.5.1	Strukturdefinition	22
2.5.2	Strukturanalyse	22
2.6	Phase II – Messdatenerfassung	23
2.6.1	Protokoll der Vorgangsdauer	23
2.6.2	Datenmengen	23
2.6.3	Auftretenshäufigkeiten	23

2.7	Phase III – Prozessmodell anfertigen	24
2.7.1	Stochastische Zeitplanung (PERT)	24
2.7.2	„Critical-Pathway“-Methode – Vorgangspfeil-Beschreibung	25
2.7.3	Schlupfzeiten	28
2.7.4	Darstellung im Balkendiagramm	28
2.7.5	Glättung und Prozessoptimierung	29
2.8	Phase IV – Auswertung der Kategorien	29
3	ERGEBNISSE	31
3.1	Phase I – Strukturermittlung	31
3.1.1	Abschnitt I - Vorbereitung	31
3.1.2	Abschnitt II - Untersuchung	33
3.1.3	Abschnitt III - Nachbereitung	34
3.2	Phase II - Messdatenerfassung	36
3.3	Phase III – Prozessmodell anfertigen	38
3.3.1	Berechnungen der Wahrscheinlichkeitsverteilung (PERT)	38
3.3.2	Erstellen des Netzplans (CPM)	40
3.4	Phase IV – Auswertung der Kategorien	46
3.4.1	Auswertung der Personal-Gruppe	46
3.4.2	Auswertung der Patienten-Gruppe	47
3.4.3	Auswertung der Tomographen-Gruppe	50
4	DISKUSSION	52
4.1	Analyse und Optimierung von CT-Arbeitsabläufen	53
4.1.1	Auswahl der Vorgänge	53
4.1.2	Analyse nach Varianzen	54
4.1.3	Analyse der Pufferzeiten	56
4.1.4	Die kritischen Vorgänge im Netzplan	56
4.1.5	Der optimierte Arbeitsplan	57

4.2	Grenzen der Netzplantechnik	60
4.2.1	Anforderung von PERT	61
4.2.2	Anforderung des kritischen Pfades	62
4.3	Ausblick – Realisierungsmaßnahmen	63
4.3.1	Stand der allgemeinen Diskussion	63
4.3.2	Besondere Umsetzungsanforderungen in der Klinik	64
4.3.3	Technische Entwicklung	65
5	ZUSAMMENFASSUNG	66
6	LITERATUR	68
7	ANHANG	76
7.1	Abkürzungen	76
7.2	Glossar	78
7.3	Tabellenverzeichnis	81
7.4	Abbildungsverzeichnis	82
7.5	Lebenslauf	83
7.6	Danksagung	86
7.7	Eidesstattliche Erklärung	87

Ist die Zeit das Kostbarste unter allem, so ist Zeitverschwendung die allergrößte Verschwendung.

Benjamin Franklin, Der Weg zum Reichtum, 1758.

1 Einleitung

1.1 Projektplanung mit Netzplantechnik

Die Netzplantechnik umfasst spezielle Planungsverfahren und Planungstechniken von Arbeitsprozessen. Unter Planung wird die Ordnung, Vorbereitung oder gedankliche Vorwegnahme zukünftiger Aktivitäten verstanden, um Aufgaben und Ziele sicher und ohne Umwege zu erreichen (DIN 69900, 1987).

Unter einem Projekt wird ein zeitlich, sachlich und räumlich begrenztes Vorhaben mit klar definierter Aufgaben- und Zielstellung verstanden (DIN 69900, 1987).

In der modernen Medizin sind definierte Konzepte zur Patientenversorgung in vielen Feldern im Einsatz. Auf der einen Seite sind die Vorteile einer planvollen Herangehensweise für strukturiertes Arbeiten bekannt. Auf der anderen Seite werden Konzepte zur zeitlichen Optimierung der Arbeitsabläufe noch nicht umfassend eingesetzt. Die Diagnostik durch die Computertomographie (CT) als Routineuntersuchung ist ein Arbeitsfeld, welches sich aufgrund standardisierter Untersuchungsprotokolle gut für den Einsatz von Netzplantechnik eignet. Hierbei lässt sich eine CT-Untersuchung als Projekt betrachten.

1.2 Netzplantechnik im Gesundheitswesen

Immer dringender und deutlicher wird in den letzten Jahren die Frage nach der Wirtschaftlichkeit der Gestaltungs- und Produktionsprozesse in bisher unangefochtenen politischen und ökonomischen Bereichen gestellt. Dem öffentlichen Gesundheitswesen wird dabei besonderes Interesse gewidmet. Bisherige Versuche, die stetige Kostensteigerung der Ausgaben unter Kontrolle zu bekommen, scheiterten an eigennützigen Aktionen aller beteiligten Interessengruppen. Darunter befinden sich auf Seiten der Anbieter von Gesundheitsleistungen Ärzte, Kassenärztliche Vereinigungen, Krankenhausverwaltungen und Krankenhausgesellschaften. Als Kostenträger sind Krankenkassen und die öffentliche Hand beteiligt. Hersteller von medizintechnischen Geräten oder Arzneimitteln verfolgen ihre eigenen wirtschaftlichen Interessen. Im Mittelpunkt dieser Gruppen steht der Patient als Beitragszahler. Eingeschränkte Ressourcen und der Ruf nach Begrenzung der Beitragszahlung fordern ein generelles Umdenken in Gesellschaft und Gesundheitswesen. Appelle vonseiten des Gesundheitsministeriums

zielen insbesondere auf stärkeres wirtschaftliches Denken in den Krankenhäusern (Bundesministerium für Gesundheit, 1999). Die Medien fordern ergänzend ein generelles Umdenken der Krankenhauspolitik. So schreibt Michael Emmrich in der Frankfurter Rundschau vom 14.01.2000, dass Rationalisierungsmassnahmen dem Patienten dienen und die medizinische Qualität verbessern können. Er spricht vom legitimen Interesse der Patienten und Beitragszahler, dass mit ihrem Geld rational und nicht verschwenderisch umgegangen werde und die Kliniken auch als Servicebetrieb erfahrbar werden müssen. Neben dem kritischen Verweis auf das Eigenleben und die unterentwickelte Kooperation von Verwaltung, Ärzte und Pflegepersonal unterstreicht der Autor, dass die Krankenhäuser noch weit von einer wirklichen Qualitätsermittlung, -kontrolle und -dokumentation ihrer speziellen Leistungen, worunter die radiologische Bilddiagnostik der CT-Untersuchung fällt, entfernt sind (Emmrich, 2000).

Es werden erhebliche Anstrengungen erforderlich sein, um den Zugang zur Gesundheitsversorgung für jeden Patienten weiterhin zu gewährleisten (Caplan, 1994) und um die Patientenzufriedenheit sowie die Qualitätssicherung an deutschen Krankenhäusern zu steigern (Campion & Rosenblatt, 1996). Inwiefern die bundesweite Einführung der „DRGs“ (Diagnose Related Groups) in den Kliniken für mehr Transparenz der durchgeführten Leistungen am Patienten sorgen kann, wird sich erst in einigen Jahren zeigen und beurteilen lassen.

Dies bedeutet für alle Mitwirkenden, und insbesondere für die leitenden Ärzte, die konsequente Umstellung bisheriger Arbeitsstrategien und –aufteilungen zu mehr organisierter und damit effizienterer Teamarbeit zu fördern (Souba, 1996).

Die Diagnostische Radiologie ist ein Fachgebiet der Medizin, welches einerseits in der Zukunft eine noch steigende Bedeutung für die schnelle und exakte, dabei nichtinvasive Diagnostik erlangen wird, andererseits sich der Forderung nachweislicher Wirtschaftlichkeit nicht verschließen kann (Pack, 1994).

Dabei ist eine Neustrukturierung nach wirtschaftlichen Prinzipien in der Arbeitswelt lange bekannt. Schon im Jahre 1911 stellte Frederick Winslow Taylor in seiner Abhandlung „The Principles of Scientific Management“ dar, dass allein die Anwendung des Zeitmanagements ein effizienteres Arbeiten ermöglichen und damit sowohl größerer Profit für das Unternehmen als auch höhere Löhne für die Arbeiter erzielt werden können (Taylor, 1911). Dies ist nicht nur zeitgeschichtlich zu sehen, sondern wird fortdauernd immer von neuem propagiert und erfolgreich angegangen.

Überlegungen, die Organisation von Arbeit im Krankenhaus auf ökonomischem Denken aufzubauen, wurden erstmals 1920 vorgeschlagen (Method of Survey, 1920).

Die Diagnostische Radiologie dient als integrativer Bestandteil moderner Diagnosefindung, welche die Balance zwischen Kostenaufwand für die Untersuchungen auf der einen Seite und Kostenersparnis durch gezielte Handlungsvorgaben für die Therapie auf der anderen Seite immer wieder von neuem halten muss, um aufwendige Operationen und zeitverzögernde Therapien einzuschränken oder überflüssig zu machen. Somit ist diese Fachdisziplin mitentscheidend für die Patientenzufriedenheit in Hinblick auf die medizinischen Maßnahmen und die Ablauforganisation in Krankenhaus oder Praxis.

1.2.1 Qualitätsmanagement im Gesundheitswesen

Zeitmanagement ist immer im Zusammenhang mit Qualitätsmanagement zu sehen. Maßnahmen der Qualitätssicherung haben sich im amerikanischen Gesundheitswesen schon seit den Fünfziger Jahren etabliert. Zur Überprüfung der Qualität im Krankenhaus wurden frühzeitig eigene Institutionen gegründet. Darüber hinaus haben in den letzten Jahren die Krankenhäuser begonnen, „Total Quality Management“-Konzepte einzuführen. Zunächst wurden diese Konzepte, wie zurzeit auch in Deutschland, in der externen Qualitätskontrolle umgesetzt. Daraus gingen einige Organisationen hervor, die größte und bekannteste ist die „Joint Commission on Accreditation of Health Care Organizations“, die seit 1962 existiert und einen „Krankenhaus-TÜV“ bildet, bei dem sich die Mehrzahl der amerikanischen Krankenhäuser akkreditieren lassen. Sie unterstützt nachdrücklich die Umsetzung von „Total Quality Management“.

Grundlage dieses Konzeptes ist die Bedeutung der Qualität als wesentlicher „Wettbewerbsfaktor“ (Dale, Lascelles, et al., 1990) und damit die volle Konzentration auf die Qualität aller Dienstleistungen und Prozesse im Krankenhaus. Zur erfolgreichen Umsetzung gehören eine konsequente Patientenorientierung und eine ausgeprägte Prozessorientierung. Die aus der Industrie bekannte Erkenntnis, dass Fehler zum größten Teil nicht auf das Fehlverhalten einzelner Mitarbeiter zurückzuführen sind, sondern auf nicht ausreichend optimierte Prozesse, trifft auch auf Krankenhäuser zu.

In Deutschland wurden erstmals im Gesundheitsstrukturgesetz aus dem Jahr 2000 Qualitätssicherungsmaßnahmen vorgeschrieben. Diese waren jedoch überwiegend durch die Betonung auf externe Qualitätssicherung geprägt.

Seit 1.1.2000 besteht nun gemäß § 135a, Sozialgesetzbuch V die Verpflichtung, in Krankenhäusern, stationären Vorsorge- und Rehabilitationseinrichtungen einrichtungsintern ein Qualitätsmanagement einzuführen und weiterzuentwickeln.

Bei Begutachtung der Arbeit im Krankenhaus betrifft die Forderung nach Prozessorientierung sowohl den Kernprozess, also den Gesamtversorgungsprozess des Patienten von der Aufnahme bis zur Entlassung, als auch die Vielzahl der unterstützenden Teilprozesse der Diagnostik, der Therapie, der Versorgung und der Verwaltung (wie z.B. Röntgendiagnostik, Labordiagnostik, Operationen, Physikalische Therapie, Speisenversorgung, Krankenhausaufnahme, Leistungsanforderungen, Leistungsdokumentation). Ziel der prozessorientierten Gestaltung der Krankenhausorganisation ist es, den Nutzen aller Einzelleistungen und damit auch der Gesamtleistung des Krankenhauses für den Patienten zu verbessern (Eichhorn, 1999).

In dieser Arbeit soll der Teilprozess „Untersuchung des Patienten im Computertomographen“ prozessorientiert interpretiert werden und als Beispiel für zielführende Ablauforganisation im Krankenhaus dienen.

1.2.2 Zeitmanagement in der Diagnostischen Radiologie

Um die Patientenzufriedenheit zu steigern bieten sich in der Diagnostischen Radiologie nicht nur der freundliche Umgang mit dem Patienten an, sondern auch eine gezielte professionelle Ablauforganisation im Sinne des Patienten und des Abteilungsbudgets. Der aus der Industrie stammende Begriff „Produktionsprozess“ wird in der vorliegenden Arbeit auf Untersuchungen im Funktionsbereich der Computertomographie verwendet. Der Patient wird dabei zum entscheidenden Objekt innerhalb des Prozesses, der die verschiedenen Stadien der Untersuchung durchläuft. Ziel aus der Sicht des Patienten ist die Verkürzung „sinnloser“ Wartezeiten.

Die Ablauforganisation der beteiligten Prozesse richtet sich auf das effektive Management der knappen Ressource „Zeit“, indem in der verfügbaren Zeit ein Maximum an Arbeitsprozessen durchgeführt werden soll bzw. jeder Arbeitsprozess so organisiert sein muss, dass er ein Minimum an Zeit benötigt.

Beispiele für die erfolgreiche Reorganisation der Abläufe finden sich nicht nur in den USA, sondern auch in Deutschland. So gelang es einer Augenklinik in Ludwigshafen, die Verweildauer von Patienten mit Katarakt-Operationen von sechs auf zwei Tage zu verkürzen (Harms, 1996). Eine auf derartigen Studien basierende Schätzung für das

vorhandene Rationalisierungspotential beträgt rund 33% der gesamten Aufwendungen der Krankenkassen an die Krankenhäuser (Thomas, 1996).

Bei der Betrachtung der Dienstleistungen im Krankenhaus liegt üblicherweise der Blick auf dem Ergebnis, also hier der Heilung einer Krankheit, weniger auf dem Prozess (Müller-Haslach, 1997). Die reine Orientierung am Ergebnis ist ein tradierter Denkansatz. Die Ressourcen, auch die „Zeit“-Ressource, die das Ergebnis erzeugt haben, waren allein Mittel zum Zweck und bedurften keiner weiteren Reflektion. Diese Betrachtungsweise ist primär quantitativ in dem Sinne, dass ein größerer Zeitaufwand zu mehr Ergebnis führt.

Dagegen hat das prozessorientierte Denken (Imai, 1992) seinen Fokus auf dem Prozess mit seinen einzelnen Schritten. Die Betrachtungsweise ist eher qualitativ. Hier wird davon ausgegangen, dass eine bessere Nutzung der Zeit in einem besseren Ergebnis resultiert.

1.3 Anforderungen an das Prozessmanagement

Es ist vordergründig die Quantität, praktisch aber auch die Qualität der für einen Arbeitsablauf benötigten Arbeitsschritte, welche die benötigte Zeit des Gesamtprozesses bestimmt. Voraussetzung für wegweisende Ergebnisse ist die Optimierung des Prozesses durch eine kritische Analyse der Elemente, der strukturellen Abhängigkeiten und des zeitschonendsten Ablaufes.

Müller-Haslach führt zwei grundsätzliche Fragestellungen an, deren Antworten in die Richtung einer zeitlichen und damit auch kostenmäßigen Optimierung weisen (Müller-Haslach, 1997):

1. Ganzheitliche Betrachtung und Analyse des (Teil-)Prozesses und seiner einzelnen Aufgaben mit folgenden Fragestellungen:
 - Ist der (Teil-)Prozess optimal in den Gesamtprozess integriert? Ist er vielleicht vollkommen überflüssig? Lässt er sich mit einem anderen Prozess sinnvoller zusammenfassen?
 - Gibt es überflüssige Aufgaben innerhalb des Prozesses, auf die generell verzichtet werden kann?
 - Gibt es Aufgaben innerhalb des Prozesses, die in einem anderen Prozess schneller oder besser erledigt werden können (Synergie-Effekte)? Können sie überhaupt ausgelagert werden?

- Ist die Abfolge der einzelnen Aufgaben sinnvoll? Ist es sinnvoll, eine Aufgabe in noch weitere Schritte zu unterteilen?
 - Gibt es genügend Kontakte (dialogischer Austausch von Informationen) zum vor- und nachgelagerten Prozess?
2. Bestmögliche Kombination der „4-M-Strukturelemente“ (4-M: „Mensch“, „Maschine“, „Material“, „Methode“ (Müller-Haslach, 1997)) mit folgenden Fragestellungen:
- Haben die am Prozess beteiligten Menschen die für die Lösung der Aufgabenstellung(en) nötige Ausbildung und Erfahrung? Sind sie überqualifiziert, in anderen Prozessen besser einzusetzen? Besteht ein – möglichst ganzheitliches – Problembewusstsein für die Aufgabenstellung? Ist der Wille zur Verbesserung der Abläufe grundsätzlich vorhanden? Sind sie bereit, die Selbstverantwortung für die Qualität ihrer Leistung zu übernehmen? Können durch Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen (z.B. EDV-Schulungen, Schulung des persönlichen Zeit-Managements) Zeiteinsparungen im persönlichen Bereich realisiert werden?
 - Sind die im Prozess eingesetzten Maschinen, Apparate und Geräte hinsichtlich Leistung und Verfügbarkeit auf dem „Stand der Technik“? Gibt es Alternativen, die die benötigte Leistung in kürzerer Zeit erbringen? Was sind die Kosten, was ist der Nutzen einer solchen Alternative? Gibt es Möglichkeiten, die Leistung durch Verbesserung einzelner Komponenten (z.B. Austausch eines Prozessors an einem Rechner) kostengünstig zu erhöhen? Ist die Verfügbarkeit durch hinreichende Wartungs- und Instandhaltungsprozesse sichergestellt? Gibt es Ausweichmöglichkeiten in Fällen von System-Abstürzen?
 - Führt das eingesetzte (z.B. vermeintlich „billigere“) Material zu Störungen im Prozessablauf? Was kostet der Störfall, der durch „schlechtes“ Material verursacht wird? Mit welchen Materialqualitäten lassen sich Störungen nahezu sicher vermeiden? Kommt es zu Störungen aufgrund Materialmangels? Wie kann hier die Logistik verbessert werden? Wie wird die Verfügbarkeit von Material mit „Verfallsdatum“ organisiert? Wie wird verhindert, dass es verfällt?

- Sind die angewandten Methoden auf dem „Stand der Technik“? Gibt es eine abteilungsübergreifende rechnergestützte Termin- und Ablaufplanung, die auch den – möglichst - flexiblen Einsatz des Personals steuert? Ist sichergestellt, dass einmal manuell erfasste Informationen (z.B. Patientendaten) in anderen Prozessen nicht noch einmal manuell erfasst werden müssen? Sind die ärztlichen Methoden auf der Höhe der Zeit?

Die Gesamtheit der Fragen würden den Umfang dieser Arbeit erheblich erweitern und sollen lediglich als Überbau der gewählten Fragestellung dienen.

1.4 Netzplanmethoden im Überblick

Im vergangenen Jahrzehnt wurden in amerikanischen Krankenhäusern Strategien entwickelt, um den Verbrauch an Ressourcen zu verringern und gleichzeitig den Qualitätsstandard zu halten oder zu verbessern (Feldstein, Wickizer, et al., 1988; Zander, 1988, 1992; Wickizer, 1992; Weingarten, Riedinger, et al., 1994). Dabei zeigte sich vor allem die „Netzplantechnik des kritischen Pfades“ – „Critical-Pathway“-Methode (CPM) – als besonders erfolgreich, diesen Ansprüchen gerecht zu werden (Hofmann, 1993; Yandell, 1995). Der „kritische Pfad“ stellt die ideale Ablauffolge von Arbeitsschritten dar, um ein geplantes Ergebnis in möglichst kurzer Zeit zu erzielen.

Um Unsicherheiten bei der Zeitschätzung von Vorgängen zu berücksichtigen, wurde die „Program-Evaluation-and-Review“-Technik (PERT) entwickelt (Goldstein, 1994).

1.4.1 Geschichte der Netzpläne

Historisch gehen diese Ansätze der Netzplantechnik auf drei unabhängig voneinander entwickelte Verfahren zurück (Schwarze, 2001):

„Metra-Potential“-Methode: MPM (Vorgangsknoten-Netzplan).

Dieses Verfahren verwendete als erstes Vorgangsknotennetze und wurde 1957 in Frankreich entwickelt. Es werden nur Abhängigkeiten der Form AA, also „Anfang-Anfang-Anordnungsbeziehungen“, verwendet. Eine Besonderheit stellt die sogenannte „Bündelbedingung“ dar, durch die ein Vorgang bereits beginnen kann, wenn der erste seiner Vorgänger beendet ist. Inzwischen werden unter der Abkürzung MPM auch Verfahren geführt, die andere Abhängigkeiten berücksichtigen. Dieses sind aber bereits Erweiterungen der ursprünglichen Konzeption. Heute ist MPM für viele ein Synonym zu Vorgangsknotennetzen, man spricht von MPM-Netzplänen.

„Critical-Pathway“-Methode: CPM (Vorgangspfeil-Netzplan).

Dieses Verfahren wurde 1956 in den USA entwickelt und verwendet „Vorgangspfeilnetze“. Ursprünglich wurde diese Methode in den Bereichen von Bauprojekten und technischen Entwicklungsprojekten angewendet, in denen sie seit Jahrzehnten erfolgreich zum Einsatz kommen (Berg, 1973; Selling BR, 1975; Moder, 1983). Heute ist CPM noch vielfach ein Synonym für Vorgangspfeilnetze, und man spricht von CPM-Netzplänen.

„Program-Evaluation-and-Review“-Technik: PERT (Ereignisknoten-Netzplan).

Dieses Verfahren, bei dem ursprünglich nur Ereignisknotennetze verwendet wurden, wurde ebenfalls 1956 in den USA zunächst für die Planung und Überwachung militärischer Forschungs- und Entwicklungsprojekte entwickelt (Malcolm, Roseboom, et al., 1959; Miller, 1963). Es wurde in den letzten Jahrzehnten vielfach weiterentwickelt, und wird in einigen Fällen als Synonym für „Netzplantechnik“ verwendet (Luttman, 1995).

Mittlerweile sind für diese Verfahren hochentwickelte Anwendungsprogramme vorhanden. Diese werden allgemein zur Projektstrukturierung, zur Planung und Kontrolle von Einsatzmitteln und zur Projektdokumentation eingesetzt. Im speziellen können die Anfangs- und Endzeitpunkte, der kritische Pfad und Pufferzeiten ermittelt werden. Erweitert erfolgen auch Berechnungen für optimistische, erwartete und pessimistische Zeitschätzungen, die aus der PERT-Technik stammen.

Im Gesundheitswesen wurden Überlegungen zur Anwendung dieser Verfahren in klinischen Abläufen erstmals in den frühen Siebziger Jahren angestellt (Gil Corrales, 1971; Block, 1973; Parry, 1973). 1974 stellten Shoemaker et al. fest, dass „Routine- oder Patientenprotokolle sinnvoll eingesetzt werden könnten, um eine umfassende Patientenversorgung und eine Evaluation des Heilungsfortschritts und des therapeutischen Nutzens zu gewährleisten“ (Shoemaker, 1974). Obwohl diese Vorschläge in Ansätzen Erfolge vorweisen konnten, fehlte zur damaligen Zeit der finanzielle Druck auf die Krankenhäuser, da sie ihre Kosten noch vollständig bei den Versicherungen in Rechnung stellen konnten. Von Ärzten wurden daher jegliche Einschränkungen ihrer Behandlungsmethoden abgelehnt.

1.4.2 Einsatz der Netzplantechnik im Gesundheitswesen

Mit Beginn der Achtziger Jahre rückten diese Ansätze durch die Einführung prospektiver Haushaltsführung im Krankenhaus wieder in den Vordergrund (Diplock & de Vulder, 1979; Ryan, 1979). Begleitend machten die zum Teil äußerst vielfältigen Prozessvarianten der Behandlungsmethoden die Problematik der Ineffizienz bewusst (Wennberg, Blowers, et al., 1977; Eisenberg, 1986). Dies führte dazu, dass immer mehr Kliniken in den USA Programme, vor allem im Pflegebereich (Ethridge & Lamb, 1989; Giuliano & Poirier, 1991), zur Umsetzung von Netzplanverfahren einführten. Eine Schlüsselmotivation für die Entwicklung von „kritischen Pfaden“ war die Verringerung der Liegedauer im Krankenhaus und der Kosten, die mit besonderen Diagnosestellungen und Behandlungsmethoden zusammenhängen (Rhea, 1986). Auch in angrenzenden Disziplinen wie der Pharmazie (Jones, 1984) und der Forschung (Kost, 1986) wurde die Netzplantechnik erfolgreich eingesetzt. Weitere Vorteile sind in Tabelle 1-1 dargestellt.

Tabelle 1-1: Auswirkungen und Vorteile der Netzplantechnik (CPM/PERT)

Förderung	Reduktion
• Die Qualität der Pflege wird gesteigert.	• Verringerung von Verspätungen und Verbrauch von Ressourcen
• Erleichterung, angestrebte Ziele zu erreichen	• Reduktion von Prozessvarianten
• Verbesserung des Preis-Leistungs-Verhältnisses	• Verringerung der Liegedauer im Krankenhaus

Obwohl die Kostenaufschlüsselung, die Durchführungsdauer und die Rentabilitätsschwelle von CT-Untersuchungen in radiologischen Fachzeitschriften diskutiert wurden (Winter, 1978; Evens & Jost, 1979a, b, 1982; Rossi & Hendee, 1980; Jost, Rodewald, et al., 1982; Terhorst, 1984), wurden damals noch keine wesentlichen Anstrengungen unternommen, besondere organisatorische Planungen zu einer effizienteren Durchführung der Computertomographie durchzusetzen.

Die Diskussion in den Neunziger Jahren war von der Berücksichtigung aller Behandlungsaspekte und individuellen Nutzungsmöglichkeiten der Netzplantechnik im klinischen Alltag geprägt (D'Aquila, 1993; Lord, 1993; Coffey, Othman, et al., 1995; Karcz, 1995; Harkleroad, Schirf, et al., 2000). Im Bereich der Diagnostischen Radiologie wurde die Notwendigkeit von kosten- und ressourcensenkenden Maßnahmen erkannt (Rhea & Sztucinski, 1993; Gerhardt, 1996).

1.4.3 Einsatz der Netzplantechnik in der Diagnostischen Radiologie

Spezifische Erfolge, nach Änderungen im Arbeitsablauf im Umfeld von CT-Untersuchungen, wurden 1994 von den Autoren Rhea und Thrall veröffentlicht (Rhea, Thrall, et al., 1994). Demnach konnten die Kosten unter Einsatz von Prozessmanagement-techniken um 25% gesenkt und der Patientendurchlauf um 50% gesteigert werden. Dies wurde durch den intensivierten Arbeitseinsatz während der Durchführung und durch Reduktion von ungenutzter Zeit erreicht. Dabei wurden zeitintensive und variable Vorgänge im Bezug auf den Patientendurchlauf kritisch analysiert und ausgewertet. Sodann erfolgte die Umsetzung in einem Netzplan mit begleitenden Infrastrukturumbauten wie z.B. den Einsatz von PACS und Mitarbeiterweisungen. Die Ergebnisse zeigten dabei in Bezug auf die Untersuchungsdauer eine Verkürzung von durchschnittlich 50 auf 35 Minuten auf.

In Deutschland erhob Reuß et al. zur Erfassung des tatsächlichen Zeitaufwandes für Ultraschalluntersuchungen bei Ärzten eine Umfrage, die aber keinerlei Vorschläge zur Effizienzsteigerung beinhaltete (Reuss, Weiss, et al., 1998). Die Verwendung der Netzplantechnik bei Ultraschalluntersuchungen wurde erstmals von Teichgräber et al. durchgeführt (Teichgräber, Benter, et al., 1999).

Auf dem Gebiet der klinischen Radiologie wurde zuletzt im Massachusetts General Hospital in Boston die Netzplantechnik zur erweiterten Zeitplanung und Qualitätskontrolle eingeführt. Hintergrund dieser Methodenwahl war der zunehmende Konkurrenzdruck mit kleineren Kliniken und damit die immer wichtigere Rolle der Kundenzufriedenheit des Patienten (Doncaster, 1999). Parallel gelang es einer steigenden Zahl von Krankenhäusern, die ihre Radiologie mit dem Einsatz von PACS filmfrei organisierten, durch strukturierte Planung ihre Effizienz zu steigern (Brye, Loharikar, et al., 1999). Der Einsatz eines Software-Programms zur Steuerung von radiologischen Arbeitsprozessen wurde erstmals 1999 erprobt (Schmidt, Meetz, et al., 1999).

1.5 Fragestellung

Die Netzplantechnik wird seit langem in der Industrie bei standardisierten deterministischen Arbeitsprozessen erfolgreich angewandt. Die Arbeitsabläufe in Kliniken und Praxen wurden bisher nur in wenigen Untersuchungen auf ihre Effizienz überprüft. Ziel der vorliegenden Arbeit war die Strukturanalyse und das Zeitmanagement von Computertomographie-Untersuchungen im diagnostischen Funktionsbereich einer radiologischen Klinik.

Nach Beschreibung des Arbeitsbereiches am Computertomographen wurden die komplexen Arbeitsabläufe in unterschiedlichen Varianten mit zwei Gerätegenerationen von Computertomographen, drei verschiedenen Patientenkategorien und zwei Untersuchungsprotokollen in unterschiedlicher Personalbesetzung verglichen. Als Ergebnis sollte ein optimierter Einsatzplan für die beteiligten Stellen mit dem Ziel erstellt werden, um Arbeitsabläufe schneller, verständlicher, effizienter und damit kosteneinsparend zu gestalten.

Im Einzelnen wurden folgende Fragestellungen untersucht:

1. Ist die Netzplantechnik als Methode zur Prozessgestaltung in einem medizinischen Arbeitsbereich wie der hier evaluierten Computertomographie-Untersuchung einsetzbar?
2. Welche Auswirkungen kann die Netzplantechnik auf den untersuchten Arbeitsablauf haben?
3. Welchen Einfluss haben unterschiedliche Strukturelemente wie Personal, Patienten und Gerätegenerationen von Computertomographen auf die Planung des Untersuchungsablaufs?
4. Wie sieht ein optimierter Arbeitsablauf bei Computertomographie-Untersuchungen aus?

2 Material und Methoden

2.1 Arbeitsplätze

Es wurden zwei Arbeitsbereiche mit unterschiedlichen Geräten in der Diagnostischen Radiologie der Klinik für Strahlenheilkunde am Universitätsklinikum Charité Campus Virchow-Klinikum in Berlin untersucht. Die Geräte waren auf dem technischen Stand von 1999. Beide Geräte befanden sich bezüglich der Raumaufteilung in vergleichbaren Arbeitsumgebungen (s. Abbildung 2-1 und Abbildung 2-2, Seite 19).

Die räumliche Aufteilung umfasste einen Wartebereich für Patienten, einen Untersuchungsraum und einen Schalt- und Messraum, in dem das CT bedient wurde. Die Weiterverarbeitung der Daten, der Ausdruck und das anschließende Kurzbefunden der Bilder fanden ebenfalls im Schalt- und Messraum statt. Die drei Räume grenzten bei beiden untersuchten Geräten unmittelbar aneinander. Im Schaltraum standen jeweils zwei Telefone, ein RIS-Computer (RIS: Radiologisches Informationssystem) und ein Leuchtkasten zur Verfügung. Der angrenzende Befundungsraum war mit einem Telefon, einem RIS-Computer und einem Alternator ausgestattet.

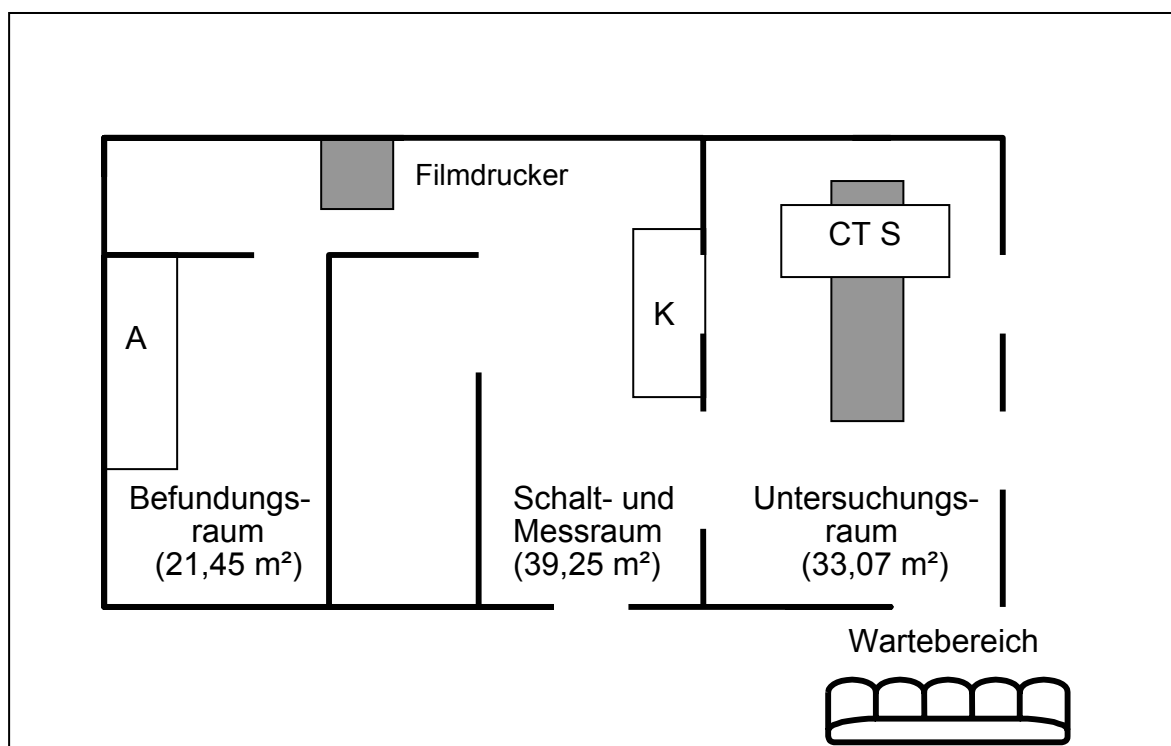


Abbildung 2-1: Grundriss CT S.
A: Alternator, K: Bedienkonsole.

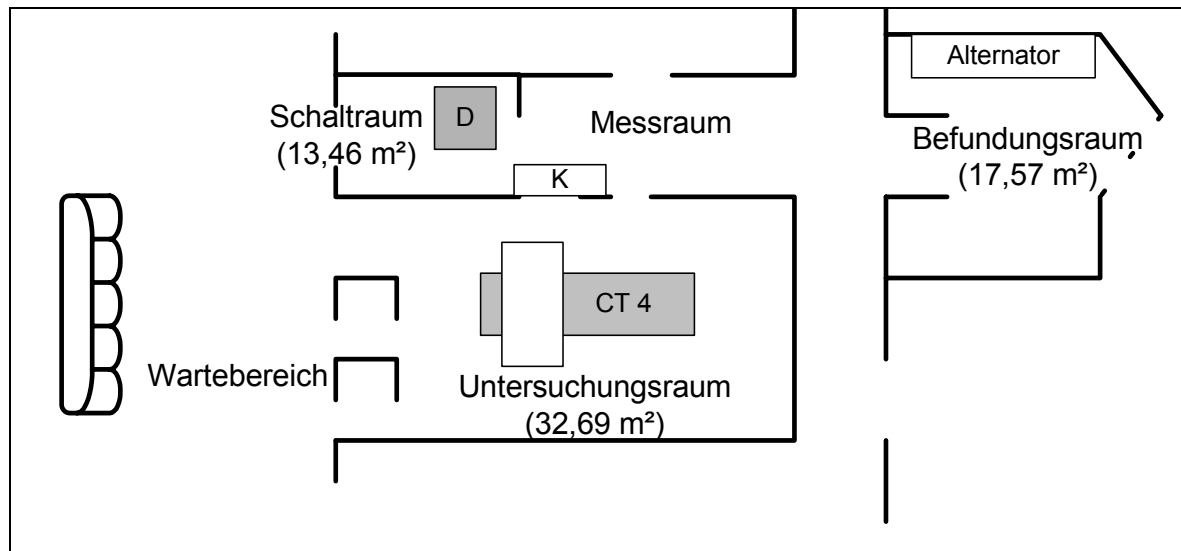


Abbildung 2-2: Grundriss CT 4.
D: Filmdrucker; K: Bedienkonsole.

Die Untersuchungsgeräte waren zwei Einzeilen-Spiral-Computertomographen der dritten Generation:

1. Somatom Plus S (Siemens, Erlangen, Deutschland) in Verbindung mit einem „Dry View“ Drucker (Kodak, Stuttgart, Deutschland), im folgenden Text als CT S bezeichnet. Zum Zeitpunkt der durchgeführten Messungen wurden jährlich an diesem Gerät ca. 7.200 Untersuchungen an ca. 4.500 Patienten durchgeführt.
2. Somatom Plus 4 (Siemens, Erlangen, Deutschland) in Verbindung mit einem „Star“ Drucker (Agfa, Köln, Deutschland), im folgenden Text als CT 4 bezeichnet. Das Gerät war zum Zeitpunkt der durchgeführten Messungen jährlich mit ca. 10.700 Untersuchungen bei ca. 5.100 Patienten im Einsatz.

Der Unterschied zwischen den untersuchten Geräten besteht in der schnelleren Datenverarbeitung der Bildinformation bei dem CT 4. Dabei findet die Bildrekonstruktion bereits während der Datenakquisition statt.

Zwei Medizinisch-Technische Röntgen-Assistenten (MTRA) waren für die Vorbereitung des Patienten zur Untersuchung und die Bedienung der Geräte verantwortlich. Ein Arzt war zur Vorbereitung, Kontrolle und Befundung anwesend. Die Arbeit erfolgte im Schichtdienst (8:00 Uhr bis 16:00 Uhr und 15:00 Uhr bis 23:00 Uhr). Die im Rotationsverfahren verantwortlichen Ärzte waren sechs Oberärzte und 14 den Oberärzten unterstellte Assistenzärzte, die zwischen zwei Monaten und vier Jahren Erfahrung im Befunden von CT-Bildern hatten. Die beteiligten 24 MTRA waren mit einer Erfahrung von mindestens 12 Monaten am CT eingesetzt.

2.2 Patientenkategorien

Die Patienten wurden in folgende drei Kategorien eingeteilt:

1. Mobile Patienten, sowohl stationär als auch ambulant
2. Bettlägerige Patienten, die über den Untersuchungsablauf, Risiken und Nebenwirkungen der Untersuchung und der Gabe von Kontrastmittel aufgeklärt werden konnten.
3. Intensivmedizinische Patienten, die nicht aufgeklärt werden konnten.

2.3 Untersuchungskategorien

Die Messungen, welche an beiden Untersuchungsgeräten identisch durchgeführt wurden, betrafen im Einzelnen zwei Untersuchungsarten:

1. CT des Kopfes ohne und mit Kontrastmittel
 - a. Schichtkollimation Schädel-Basis: 5 mm
 - b. Schichtkollimation Neurokranium: 8 mm
 - c. Röhrenstrom: 400 mAs
 - d. Röhrenspannung: 140 kV
2. CT des Thorax nur mit Kontrastmittel
 - a. Schichtkollimation: 5 mm
 - b. Tischvorschub: 7,5 mm
 - c. Röhrenstrom: 180 mAs
 - d. Röhrenspannung: 140 kV

Die Untersuchungsprotokolle umfassten an beiden Untersuchungsgeräten gleichsam den folgenden Ablauf:

1. Erstellen eines Tomogramms
2. Einstellen der Schichtebenen
3. (nur bei CT Kopf): Erster Untersuchungsdurchgang ohne Kontrastmittel
4. Gabe von Kontrastmittel
5. Untersuchungsdurchgang mit Kontrastmittel

2.4 Erstellen des Prozessmodells

Ein Prozessmodell wurde in vier Phasen erstellt (s. Tabelle 2-1).

Dabei wurden zunächst die Struktur des Prozesses ermittelt und anschließend die Messdaten erfasst. Es folgten das Anfertigen des Prozessmodells und zuletzt die Auswertung.

Tabelle 2-1: Die Phasen zur Erstellung eines Prozessmodells.

Phase I: Strukturermittlung <ul style="list-style-type: none">• Vorgänge ermitteln (Was wird gemacht?)• Ressourcen-Allokation (Wer macht was?)• Logische Beziehungen zwischen den Vorgängen ermitteln. (Wann wird etwas gemacht?)• Flussobjekte mit ihren Eigenschaften ermitteln. (Mit wem wird etwas gemacht?)
Phase II: Messdatenerfassung <ul style="list-style-type: none">• Zeitmessung der einzelnen Vorgänge• Auftretenshäufigkeit der einzelnen Vorgänge ermitteln• Aufbereitung der Messwerte
Phase III: Prozessmodell anfertigen <ul style="list-style-type: none">• Abbildung der Struktur und Messergebnisse in einem Prozessmodell• Erstellen des Netzplans• Errechnen des kritischen Pfades• Berechnen der Vorgangszeitpunkte• Ermitteln der Pufferzeiten
Phase IV: Auswertung <ul style="list-style-type: none">• Verwendung des Netzplans als Basis von<ul style="list-style-type: none">○ Balkendiagrammen, z.B. Belegungsplan, Einsatzplan○ Prozessoptimierung durch Bedarfsglättung• Untersuchungsdauer• Beliebige Teilprozessdauer• Validierung

2.5 Phase I - Strukturermittlung

Das Projekt wurde nach Rücksprache mit den leitenden Mitarbeitern, die an den unmittelbar ablaufenden Arbeiten am CT beteiligt waren, beschlossen (vier Oberärzte, vier Assistenzärzte, leitende MTRA).

Eine Unterrichtung und Aufklärung über das Projekt fand im Rahmen mehrerer Treffen mit den beteiligten MTRA und Ärzten statt.

2.5.1 Strukturdefinition

Das Projekt wurde in verschiedene Teilaufgaben, die als Vorgänge bezeichnet werden, gegliedert. Dabei ist ein Vorgang als zeiterforderndes Geschehen im Projektablauf definiert, welches über einen Anfangszeitpunkt und einen Endzeitpunkt verfügt (Burghardt, 1999), siehe Abbildung 2-4, Seite 25.

2.5.2 Strukturanalyse

In Phase I wurde der Untersuchungsablauf in die anfallenden Arbeitsschritte einer Untersuchung am Computertomographen eingeteilt. Ein neutraler Beobachter dokumentierte während zwei Wochen den Ablauf der Untersuchung und definierte die anfallenden Arbeitsschritte. Die Vorgänge wurden den einzelnen Arbeitskräften zugeordnet und nach ihrem zeitlichen Ablauf nummeriert.

Zusätzlich wurden die Vorgänge in die drei Abschnitte „Vorbereitung“, „Untersuchung“ und „Nachbereitung“ unterteilt. Dabei wurde ein besonderes Interesse auf den Abschnitt der Untersuchung gelegt, der als Kernzeit definiert wurde. Dies umfasste den Zeitraum von der Vorbereitung des Untersuchungsraumes für die anstehende Untersuchung bis zur Abrechnung der Untersuchung und dem Aufräumen des Untersuchungsraumes.

2.6 Phase II – Messdatenerfassung

2.6.1 Protokoll der Vorgangsdauer

An den Arbeitsplätzen wurde mit Hilfe einer Stoppuhr (CASIO Europe GmbH, Norderstedt, Deutschland) jeder stattfindende Vorgang gemessen. Dabei wurden die Vorgänge mit ihrer absoluten Anfangszeit sowie der Zeitdauer einzeln erfasst. Zusätzlich wurden besondere Vorfälle vermerkt. Die gesammelten Daten wurden in eine Tabellenkalkulation (Microsoft Excel 2000®, Microsoft GmbH, München, Deutschland) übertragen.

Die Daten wurden anschließend in die einzelnen Untersuchungs- und Patientenkategorien eingeteilt und getrennt voneinander weiterverarbeitet.

2.6.2 Datenmengen

Es wurden vom 29.09.1998 bis zum 05.04.2000 Daten zu 158 Untersuchungen von neun unabhängigen Beobachtern (Medizinstudenten im Studium oder Praktischen Jahr), die nicht dem CT-Personal angehörten, aufgezeichnet. Die Messdatenerfassung wurde mit Einzelmessungen durchgeführt. Pro Untersuchung wurden zwischen 13 und 41 Einzelmessungen aufgezeichnet. Dabei wurden insgesamt 3.962 Einzelmessungen von Vorgängen erhoben.

Die Datenmenge am CT S umfasste 103 Untersuchungen mit 2.802 Einzelmessungen. Diese teilte sich in 61 Thoraxuntersuchungen mit 1.701 Einzelmessungen und 42 Kopfuntersuchungen mit 1.101 Einzelmessungen auf. Am CT 4 wurden insgesamt 55 Untersuchungen mit 1.160 Einzelmessungen erfasst. Darunter fielen auf den Anteil der Thoraxuntersuchungen 23 Zeitmessungen mit 531 Einzelmessungen und in den Bereich der Kopfuntersuchungen 32 Zeitmessungen mit 629 Einzelmessungen.

Die niedrige Anzahl von Intensivpatienten mit insgesamt 22 Untersuchungen an beiden Geräten kam durch niedrige Fallzahlen im Routinebetrieb zustande.

2.6.3 Auftretenshäufigkeiten

Die Auftretenshäufigkeit ($n(V)$) der einzelnen Vorgänge wurde anhand der Gesamtzahl der durchgeführten Messungen ermittelt.

Zur weiteren Berechnung der realistischen Ablaufzeit wurden nur Vorgänge verwendet, die häufiger als 25% während der gemessenen Untersuchungen durchgeführt wurden.

2.7 Phase III – Prozessmodell anfertigen

2.7.1 Stochastische Zeitplanung (PERT)

Von den Messwerten jeder Aktivität wurde die häufigste Dauer (HD) als arithmetisches Mittel errechnet. Die kürzeste Dauer wurde als optimistische Dauer (OD), die längste gemessene Zeit als pessimistische Dauer (PD) ausgewiesen.

Innerhalb des Intervalls [OD, PD] wurde unter Annahme einer Beta-Verteilung der Erwartungswert der realistischen Dauer RD und die zugehörige Varianz $VAR(D)$ berechnet (s. Abbildung 2-3). Dafür wurden folgende Näherungsformeln (Goldstein, 1994) verwendet:

1. $RD = (OD + 4 \cdot HD + PD) / 6$
2. $VAR(D) = ((PD - OD) / 6)^2$

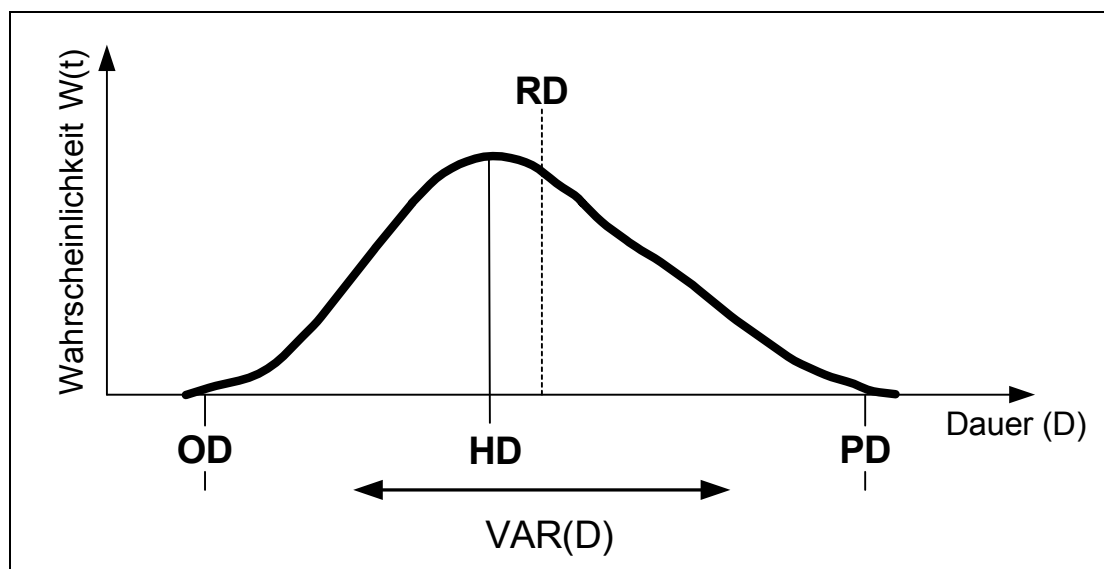


Abbildung 2-3: Beta-Verteilung der PERT-Methode.

OD: Optimistische Dauer; HD: Häufigste (mittlere) Dauer; PD: Pessimistischer Schätzwert der Vorgangsdauer; RD: Errechnete realistische Dauer; $VAR(D)$: Varianz der Dauer.

Die Varianzen der Wahrscheinlichkeitsverteilung dienen als Streuungsmaß.

Diese erhobenen Werte wurden in einem Projektmanagementprogramm (Microsoft Project 2000 ®, Microsoft GmbH, München, Deutschland) zu einem Prozessmodell weiterverarbeitet.

Um den Prozessplan zu entwickeln wurde die realistische Zeit für die Dauer der einzelnen Vorgänge verwandt (RD).

Der Durchschnitt des zeitlichen Beginns jedes Vorganges wurde berechnet und mit der realistischen Dauer in einen vorläufigen Zeitplan zusammengeführt. Darauf basierend wurde ein Überblick über die tatsächlich abgelaufene Vorgangsfolge geschaffen.

2.7.2 „Critical-Pathway“-Methode – Vorgangspfeil-Beschreibung

In der Netzplantechnik existieren mehrere Darstellungsmöglichkeiten. Die Methode des „kritischen Pfades“ verwendet dabei den Ereignisknoten-Netzplan, der im Folgenden kurz beschrieben wird.

Der Knoten symbolisiert ein Ereignis, welches einen Zustand beschreibt. Er zeigt eine Ereignisnummer über dem Strich, links unten den Zeitwert der Vorwärtsrechnung, den frühesten Anfangszeitpunkt (FAZ), und rechts unten den Zeitwert der Rückwärtsrechnung, den spätesten Endzeitpunkt (SEZ). Dies wird im Kapitel 2.7.2.2, Seite 26f, ausführlich beschrieben.

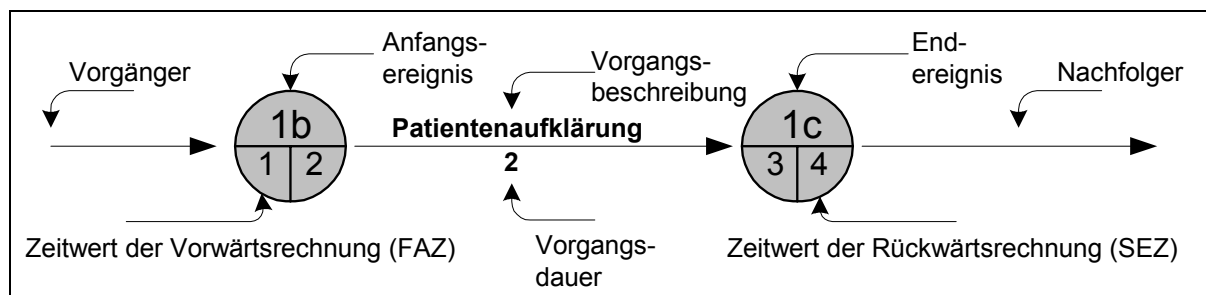


Abbildung 2-4: Grundstrukturen eines Ereignisknoten-Netzplans (nach Jenny, 1997).
FAZ: Frühester Anfangszeitpunkt; SEZ: Spätester Endzeitpunkt.

Die Verbindungspfeile zwischen diesen Knoten stellen die Vorgänge dar, um von einem Ereignisknoten zu dem nächsten zu gelangen (Abbildung 2-4). Diese sind mit einer Vorgangsbeschreibung und einer Vorgangsdauer gekennzeichnet. Jedes Ereignis wird in einer zeitlichen Abfolge mit einem Vorgänger oder Nachfolger beschrieben. Somit wird ein Plan geknüpft, der mit einem Startknoten beginnt und einem Zielknoten endet (Abbildung 2-5, Seite 26). Als Hilfsgröße ist der Scheinvorgang definiert, der im Gegensatz zum Vorgang keine Zeit verbraucht. Er wird im PERT-Netz als gestrichelter Pfeil dargestellt und ist aus methodischen Gründen notwendig, wenn der Vorgang einer Arbeitskraft erst mit dem Beenden eines vorangehenden Vorganges einer anderen Arbeitskraft anfangen kann.

Weitere Regeln zur Darstellung werden in der Literatur aufgeführt (Buffa ES, 1969; Greene JH, 1974; Wagner HM, 1975; Lockyet K, 1991; Coffey, Richards, et al., 1992).

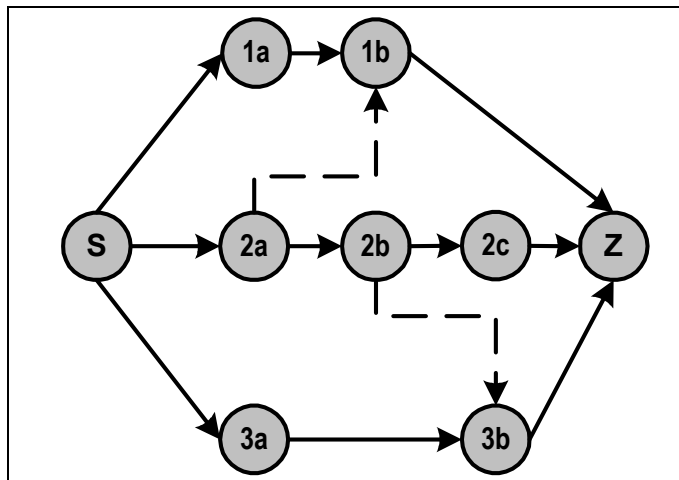


Abbildung 2-5: Abbildung eines CPM-Netzplans.

S: Startknoten = Projektstartereignis; Z: Zielknoten = Projektendereignis.

Durchgängiger Pfeil: Vorgang. Gestrichelter Pfeil: Scheinvorgang.

2.7.2.1 Bestimmung der zeitlichen Abfolge

Alle Aktivitäten erhielten definierte Vorgänger und wurden in Abhängigkeit gebracht. Kriterien waren der durch die Geräte vorgegebene Ablauf der Untersuchung und die zur Verfügung stehenden Arbeitskräfte.

Die Beziehung zwischen dem Ende des einen und dem Anfang des folgenden Vorgangs wurde am häufigsten verwendet (Ende-Anfang-Beziehung; **Normalfolge** (DIN 69900, 1987)). Sie bedeutet, dass erst wenn Vorgang 1 abgeschlossen ist Vorgang 2 beginnen kann.

Darüber hinaus bestehen Beziehungen, bei denen Vorgang 2 gleichzeitig mit Vorgang 1 beginnt (Anfang-Anfang-Beziehung; **Anfangsfolge** (DIN 69900, 1987)) oder endet (Ende-Ende-Beziehung; **Endfolge** (DIN 69900, 1987)). Diese Formen kamen nur in Einzelfällen zur Anwendung.

2.7.2.2 Kritischen Pfad ermitteln

Durch Addition der Zeiteinheiten nach der logischen Reihenfolge, beginnend bei Null, konnte durch die **Vorwärtsrechnung** jeweils der früheste Anfangszeitpunkt (FAZ) bestimmt werden. Die kürzest mögliche Gesamtprojektdauer bei realistischer Dauer der Einzelvorgänge wurde so errechnet.

Vom Endereignis und dessen Zeitwert aus der Vorwärtsrechnung ausgehend wurde der späteste Endzeitpunkt (SEZ) durch Subtraktion der Zeitwerte bestimmt. Dies wird als **Rückwärtsrechnung** bezeichnet.

Der kritische Pfad umfasst alle Ereignisse, deren früheste und späteste Ereigniszeitpunkte gleich sind. Somit enthielt der kritische Pfad alle Tätigkeiten, die keine Pufferzeiten erlaubten, d.h. zwischen dem geplanten Ende einer Tätigkeit und dem Start der Folgetätigkeit gab es keine zeitliche Verschiebungsmöglichkeit, wenn das Ende des gesamten Vorhabens unbeeinflusst bleiben sollte.

2.7.2.3 Vorgangszeitpunkte berechnen

Zur Berechnung der Pufferzeiten mussten zuerst die Vorgangszeitpunkte bestimmt werden. Aufgrund der Vorwärts- und Rückwärtsrechnung waren der früheste Anfangszeitpunkt (FAZ) und der späteste Endzeitpunkt (SEZ) jedes Vorganges bekannt.

Die Berechnung der weiteren Zeitpunkte eines Vorganges ergab sich wie folgt:

1. $FEZ(V1) = FAZ(V1) + D(V1)$
2. $SAZ(V1) = SEZ(V1) - D(V1)$

Somit konnte die zeitliche Lage des Vorganges festgelegt werden (s. Abbildung 2-6).

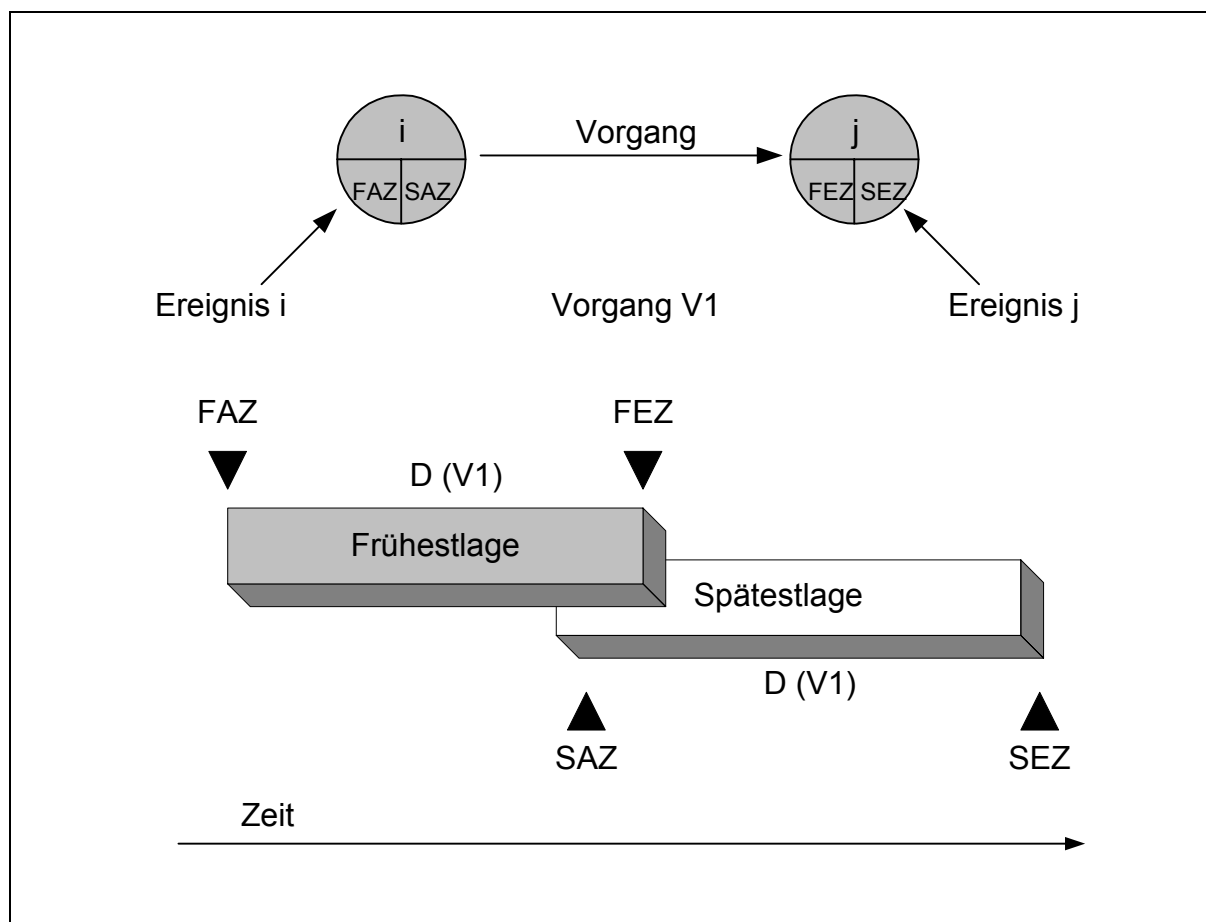


Abbildung 2-6: Die zeitliche Lage eines Vorganges.

FAZ: Frühester Anfangszeitpunkt; FEZ: Frühester Endzeitpunkt; SAZ: Spätester Anfangszeitpunkt; SEZ: Spätester Endzeitpunkt; $D(V1)$: Dauer des Vorganges.

2.7.2.4 Pufferzeiten bestimmen

Die Gesamtpufferzeit (GP) ist die Zeitspanne, die vergehen kann, bis ein nichtkritischer Vorgang zu einem kritischen Vorgang wird.

Ein nichtkritischer Vorgang beginnt am frühesten Anfangszeitpunkt (FAZ), und wird nach Ablauf seiner Vorgangsdauer (D(V)) zum frühesten Endzeitpunkt (FEZ) fertig. Verlängert sich der Vorgang im Rahmen der zur Verfügung stehenden Gesamtpufferzeit (GP), so hat dies noch keinen Einfluss auf die Gesamtprojektdauer.

Beginnt ein an sich nichtkritischer Vorgang zum spätesten Anfangszeitpunkt (SAZ), so ist er bereits kritisch und muss zum spätesten Endzeitpunkt (SEZ) fertig sein, wenn die Gesamtprojektdauer nicht in Frage gestellt werden soll.

Nach Verknüpfung der Vorgänge wurde die Pufferzeit zwischen den einzelnen Vorgängen auf das mögliche Minimum bis null Sekunden reduziert. Damit zeigte sich der kritische Pfad im Netzplan und konnte beschrieben werden.

Freie Pufferzeit (FP) entsteht, wenn mehrere Vorgänge, die nicht alle zeitbestimmend sind, in einem Ereignis münden. Die freie Pufferzeit gibt den Zeitunterschied zwischen der zeitbestimmenden und der auf einem anderen Weg berechneten frühesten Lage eines Ereignisses an.

FP gibt an, wie lange ein Vorgang höchstens ausgedehnt oder verzögert werden kann, ohne den Anfangszeitpunkt der Folgevorgänge zu beeinflussen.

2.7.3 Schlupfzeiten

Schlupfzeiten (SL) beschreiben den Zeitraum, um den ein Ereignis auf später verschoben werden kann, ohne die Gesamtdauer der Untersuchung zu verlängern:

$$SL(i) = SAZ(i) - FAZ(i).$$

Der Schlupf wurde in den Berechnungen so gering wie möglich gehalten.

2.7.4 Darstellung im Balkendiagramm

Unter Verwendung der Projektmanagement-Anwendung „Microsoft Project ®“ wurden im Weiteren Balkendiagramme verwendet. Diese boten gegenüber dem vorgestellten CPM-Netzplan den Vorteil, dass Vorgänge sowohl in ihrer zeitlichen Dauer als auch an ihrem terminlichen Zeitpunkt dargestellt wurden. So konnte die früheste und späteste Lage jedes Vorganges innerhalb des Netzplanes erkannt und optimiert werden.

2.7.5 Glättung und Prozessoptimierung

Diese gewonnen Daten dienten als Vorlage zur erneuten Revision des Prozesses mit verbesserter Prozessoptimierung.

Dabei wurden die Vorgänge in die Abschnitte „I – Vorbereitung“, „II – Untersuchung“ und „III – Nachbereitung“ als Sammelvorgänge gebündelt. Sammelvorgänge bestehen aus Teilvorgängen und fassen diese Teilvorgänge zusammen.

Die Dauer der Abschnitte diente einerseits zur Validierung gegenüber den erhobenen Messdaten. Andererseits konnte sie zum Vergleich zwischen den Patientenkategorien und Gerätekategorien herangezogen werden.

Zusammenfassend wurden Vorschläge zur Optimierung des gesamten Prozesses erarbeitet und vorgestellt.

2.8 Phase IV – Auswertung der Kategorien

Um eine ausreichend hohe Zahl an vergleichbaren Untersuchungen zu gewährleisten, wurde die Auswertung auf folgende Gruppen begrenzt, angelehnt an die „4-M-Strukturelemente“ („Mensch“, „Maschine“, „Material“, „Methode“ (Müller-Haslach, 1997) – s. Kapitel 1.3, Seite 11f):

1. Die **Personal-Gruppe** – CT S, mobile Patienten mit Thoraxuntersuchung (n=32) – zur Beurteilung der eingesetzten Arbeitskräfte und ihrer Zusammenarbeit durch Analyse der Einzelschritte (Strukturelemente „Mensch“ und „Methode“).
2. Die **Patienten-Gruppe** – CT S, alle Patientenkategorien mit Thoraxuntersuchungen (n=61) – zum Vergleich der Abschnittsdauer mit dem Schwerpunkt auf die Durchführung der Untersuchung (Strukturelement „Methode“).
3. Die **Tomographen-Gruppe** – Kopfuntersuchungen aller Patientenkategorien an beiden Geräten (n=74) – zum Vergleich des Einflusses der Geräte und des Materials auf den Gesamtablauf (Strukturelemente „Maschine“ und „Material“).

Die Anzahl der gemessenen Untersuchungen sowie die Einteilung in die einzelnen ausgewerteten Gruppen sind in Tabelle 2-2, Seite 30, dargestellt.

Tabelle 2-2: Anzahl der gemessenen Untersuchungen.

Prozentueller Anteil an der Gesamtzahl von 158 Messungen in Klammern sowie Zuordnung zu ausgewerteten Gruppen.

Gerät	Patientenkategorie	Untersuchungsmodus		
		Thorax	Kopf	Gesamt
CT S	Mobil	32 (20%)	20 (13%)	52 (33%)
	Liegend	21 (13%)	14 (9%)	35 (22%)
	Intensiv	8 (5%)	8 (5%)	16 (10%)
	Gesamt	61 (39%)	42 (27%)	103 (65%)
CT 4	Mobil	8 (5%)	15 (9%)	23 (15%)
	Liegend	13 (8%)	13 (8%)	26 (16%)
	Intensiv	2 (1%)	4 (3%)	6 (4%)
	Gesamt	23 (15%)	32 (20%)	55 (35%)
Summe		84 (53%)	74 (47%)	158 (100%)

Personal - Gruppe

Patienten - Gruppe

Tomographen - Gruppe

3 Ergebnisse

3.1 Phase I – Strukturermittlung

Abbildung 3-1, Seite 32, veranschaulicht den Ablauf einer CT-Untersuchung. Der Patient kommt von Station oder ambulant zunächst in den Wartebereich. Sobald der Untersuchungsraum freigegeben wird, beginnt die Aufrüstzeit im Untersuchungsraum. Anschließend findet die Untersuchung statt. Die Abrüstzeit beendet den Aufenthalt des Patienten im Untersuchungsraum, Bildmaterial wird angefertigt, und der Arzt befundet die Bilder. Der Patient wird zuletzt mit Kurzbefund und Bildern auf Station bzw. zum zuweisenden Arzt entlassen. Die Vorgänge, in die Abschnitte „Vorbereitung“, „Untersuchung“ und „Nachbereitung“ werden im Folgenden einzeln definiert.

3.1.1 Abschnitt I - Vorbereitung

Der erste Abschnitt der Untersuchung war die Vorbereitung der CT-Diagnostik. Die Untersuchung begann mit dem Bereitlegen der Anforderungen und Akten des Patienten sowie der Begrüßung (2a). Anschließend wurde der Arzt zur Begutachtung der Anforderungen gerufen (2c). Unterdessen gab die MTRA 1 die Patientendaten im RIS (Radiologisches Informations-System) ein (2b), kontrollierte den Kreatininwert, der unter Umständen telefonisch auf der Station oder im Labor nachgefragt werden musste (2d), und gab dem Patienten den Aufklärungsbogen (2e).

Inzwischen hatte der Arzt die Anforderung begutachtet (1a) und widmete sich dann der Aufklärung des Patienten (1b). In diesen Zeitraum fiel für die MTRA 2 die Nachbearbeitung von Patientendaten der vorherigen Untersuchung (3a), die Vorbereitung einer neuen Patiententüte durch Kleben und Beschriften (3b) und das Organisieren der Voraufnahmen durch einen möglicherweise notwendigen Gang in das Bildarchiv (3c) an (Tabelle 3-1 bis 3-3, Seite 34f).

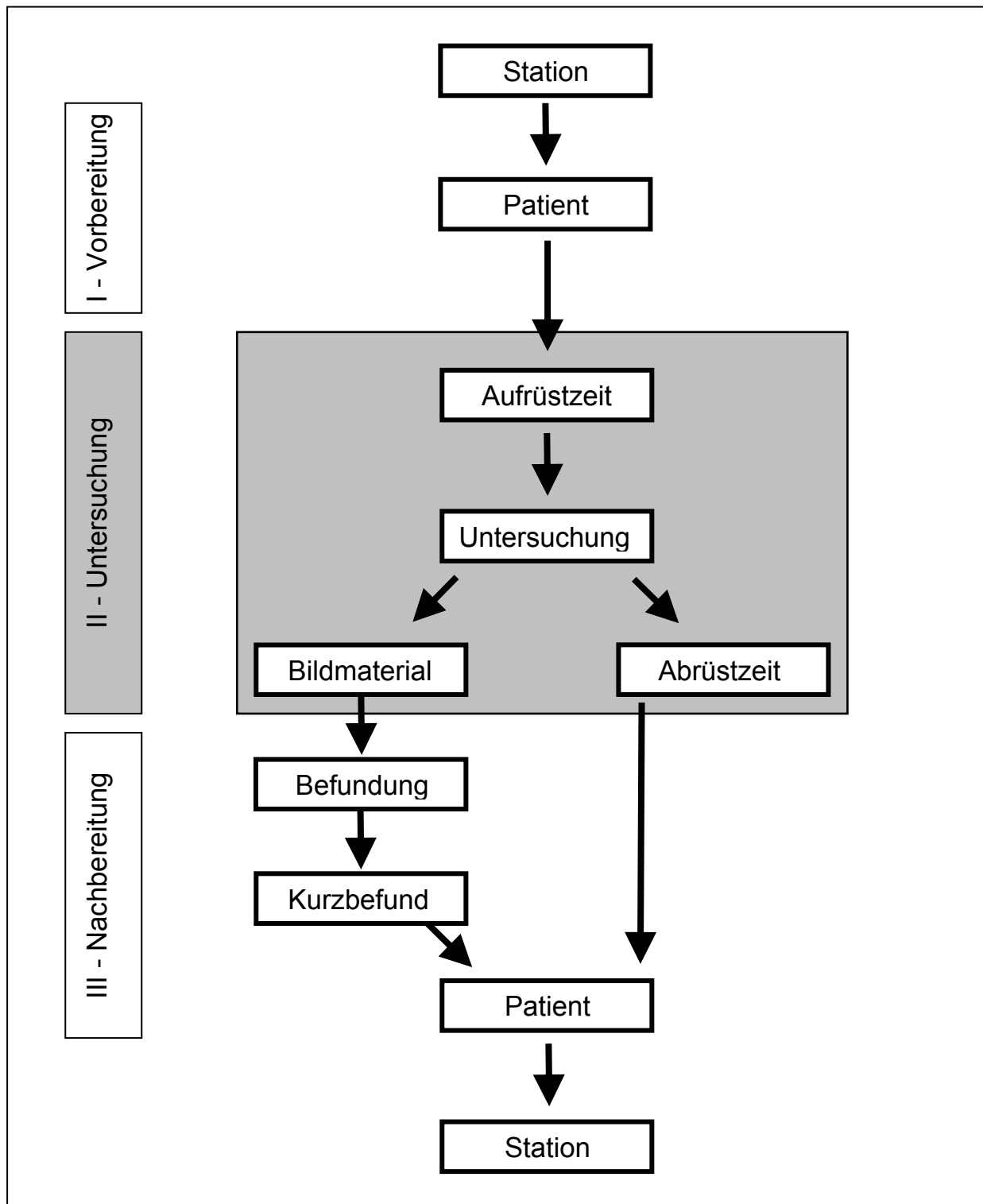


Abbildung 3-1: Prozessübersicht einer CT-Untersuchung bei einem stationären Patienten

3.1.2 Abschnitt II - Untersuchung

Die Zeitdauer der Untersuchung wurde als die Zeit definiert, während der sich der Patient im Untersuchungsraum aufhielt und der Computertomograph für andere Arbeiten nicht zur Verfügung stand. Dieser Abschnitt begann mit dem Vorgang 2f der MTRA 1, der Vorbereitung des Untersuchungsraumes, und nachfolgend 2g, den Patienten in den Untersuchungsraum hereinzubitten und den Untersuchungsablauf zu erklären. Währenddessen legte der Arzt die Untersuchungsstrategie fest (1c). Falls zwischendurch Zeit blieb, erstellte der Arzt Kurzbefunde der Aufnahmen der letzten Patienten (1d).

Sodann rief die MTRA 1 den Arzt zur Braunülenanlage (2h), der dieser Aufforderung mit dem Legen eines intravenösen Zugangs und gegebenenfalls Verabreichung von Prämedikation nachkam (1e). Zeitgleich gab die MTRA 2 die Patientendaten für den Computertomographen ein und bereitete das benötigte CT-Untersuchungsprotokoll vor (3d). Die Patientenliege wurde zum Topogramm von der MTRA 1 eingestellt (2i), eventuell gefolgt von der Vorbereitung der Prämedikation (2j). Anschließend wurde das Topogramm zur Planung der Untersuchung (3e) und der Kontrastmittelapplikation (3f) von der MTRA 2 durchgeführt. Vor der eigentlichen Untersuchung des Patienten überprüfte der Arzt die Einstellungen (1f).

Der zentrale Vorgang, die Durchführung der Untersuchung (3g), wurde vom Arzt am Monitor verfolgt (1g). Nach Ablauf der Nativserie erfolgte die Einstellung der Kontrastmittelparameter durch die MTRA 2 (3h) und die Kontrolle des Kontrastmitteleinflusses im Untersuchungsraum durch den Arzt (1h). Erneut verfolgte der Arzt die Untersuchung der Kontrastmittelserie am Bildschirm (1i). Zu jeder Zeit war ein gewünschtes Gespräch mit dem Patienten im Untersuchungsraum (1j) möglich.

Während der Untersuchung organisierte die MTRA 1 die folgenden Untersuchungen durch Abruf, eventuell telefonisch (2k). Dem nächsten Patienten wurde der Aufklärungsbogen zum Durchlesen ausgehändigt (2l).

Nach Abschluss der apparativen Untersuchung wurde der Kontrastmittelschlauch abgeklemmt und der Patient von der Patientenliege genommen (2m). Falls nicht noch der Zugang des Patienten von der MTRA 1 gezogen wurde (2n) endete damit der Abschnitt der Untersuchung.

Unterdessen lief die Nachverarbeitung der Untersuchung durch Nachbearbeitung der Bilddaten an (3i). Die ersten Bilder wurden zum Ausdruck geschickt, die Filme aus dem

Drucker genommen, sortiert und aufgehängt (3l). Nach Ruf des Arztes (3j) konnte dieser mit der Bilddiagnostik der Bilder am Leuchtkasten beginnen (1k) (Tabelle 3-1 bis 3-3).

3.1.3 Abschnitt III - Nachbereitung

Falls erforderlich erfolgte auf Anordnung des Arztes (1l) eine erneute Nachbearbeitung der Bilder durch die MTRA (3k). Unterdessen konnte der Oberarzt zur Befundbesprechung gerufen werden (1m). Weiterhin war in einigen Fällen die Begutachtung vorhandener Voraufnahmen zum Vergleich unerlässlich (1n).

Aufgabe der MTRA war zu diesem Zeitpunkt die Säuberung des Tisches und der Gantry (3m), bei Bedarf der Anruf des Rücktransportes auf Station (3n) und die Abrechnung der Untersuchung im RIS (3o). Selten auftretende Tätigkeiten wie Filme, Wäsche, Chemie und Kontrastmittel auffüllen sowie Spritzen und Bildspeicher-CD wechseln wurden in dem Vorgang „Technischer Faktor“ (3p) gebündelt.

Bei Bedarf konnte eine Besprechung des Kurzbefundes mit dem Oberarzt (1o) erfolgen. Der Arzt verfasste abschließend den schriftlichen Kurzbefund (1p). Ein Abschlussgespräch mit dem Patienten (1q) und die Aushändigung der Bilder mit Verabschiedung (2o) beendete den Prozess der CT-Untersuchung (Tabelle 3-1 bis 3-3).

Tabelle 3-1: Vorgänge des Arztes

I	Vorbereitung
1a	Begutachtung der Anforderung
1b	Gespräch mit Patienten und Aufklärung
II	Untersuchung
1c	Festlegen der Untersuchungsstrategie
1d	Kurzbefund letzter Patient
1e	Intravenösen Zugang legen, eventuell Prämedikation
1f	Überprüfung der Einstellung
1g	Untersuchung am Monitor beobachten
1h	Kontrastmittel-Einfluss im Untersuchungsraum kontrollieren
1i	Untersuchung am Monitor beobachten
1j	Eventuell Gespräch mit Patienten im Untersuchungsraum
III	Nachbereitung
1k	Bilder begutachten am Leuchtkasten
1l	Eventuell weitere Einstellungen bei der MTRA anfordern
1m	Oberarzt anrufen
1n	Eventuell Voraufnahmen zum Vergleich begutachten
1o	Besprechung des Kurzbefundes mit dem Oberarzt
1p	Verfassen des Kurzbefundes
1q	Eventuell Abschlussgespräch mit dem Patienten

Tabelle 3-2: Vorgänge der MTRA 1

I	Vorbereitung
2a	Anforderungen und Akten des Patienten entgegennehmen / Begrüßung
2b	Patientendaten im Abrechnungssystem (RIS) eingeben
2c	Arzt zur Begutachtung der Anforderungen rufen
2d	Kreatininwert kontrollieren bzw. nachfragen
2e	Patienten den Aufklärungsbogen geben
II	Untersuchung
2f	Vorbereitung des Untersuchungsraumes
2g	Patienten in den Untersuchungsraum hereinbitten, Untersuchungslauf erklären
2h	Arzt zur Braunülenanlage rufen
2i	Patientenliege zum Topogramm einstellen
2j	Eventuell Prämedikation vorbereiten
2k	Eventuell neuen Patienten abrufen, eventuell telefonieren
2l	Aufklärungsbogen für neuen Patienten zum Durchlesen geben
2m	Kontrastmittel-Schlauch abklemmen, Patienten vom Tisch nehmen
III	Nachbereitung
2n	Zugang des Patienten ziehen
2o	Dem Patienten die Bilder aushändigen, Verabschiedung

Tabelle 3-3: Vorgänge der MTRA 2

I	Vorbereitung
3a	Nachbearbeitung von Patientendaten von der vorherigen Untersuchung
3b	Patiententüten kleben und beschriften, Voraufnahmen
3c	Eventuell Voraufnahmen aus dem Archiv/CT holen
II	Untersuchung
3d	Patientendaten eingeben und CT-Topogramm laden
3e	Topogramm durchführen, Untersuchung planen
3f	Kontrastmittelplanung
3g	Untersuchung durchführen
3h	Kontrastmittel-Parameter einstellen
3i	Nachverarbeitung (Lungenfenster, Topogramm)
III	Nachbereitung
3j	Arzt rufen
3k	Eventuell erneute Nachbearbeitung der Bilder
3l	Filme aus dem Drucker nehmen, sortieren
3m	Tisch und Gantry säubern
3n	Transport rufen
3o	Untersuchung im RIS abrechnen
3p	Technischer Faktor (Filme, Wäsche, Chemie & KM auffüllen, Spritzen & CD wechseln)

3.2 Phase II - Messdatenerfassung

Zur Berechnung der Daten wurden im Folgenden die Ergebnisse der Thoraxuntersuchungen von mobilen Patienten am CT S (Personal-Gruppe) exemplarisch für die Messdatenerfassung und das Erstellen eines Prozessmodells verwendet.

Aufgaben des Arztes, die nahezu immer durchgeführt wurden, waren die Aufklärung des Patienten (93,8%), das Legen des intravenösen Zugangs für das Kontrastmittel (96,9%) und die Kontrolle des freien Kontrastmittel-Einflusses (81,3%). Die Befundung der Untersuchung musste aus organisatorischen Gründen teilweise auf einen späteren Zeitpunkt verlegt werden, so dass eine unmittelbare handschriftliche Kurzbefundung nur in 62,5% der Messungen durchgeführt werden konnte (s. Tabelle 3-4).

Tabelle 3-4: Vorgänge des Arztes: PERT-Berechnungen.

CT S, Thoraxuntersuchung, mobile Patienten, n=32. n(V): Auftretenshäufigkeit der Vorgänge; RD: realistische Dauer; OD: optimistische Dauer; PD: pessimistische Dauer; VAR(D): Varianz der Dauer. Zeiten in Minuten.

Nr. Vorgang	n(V)	RD	OD	PD	VAR(D)
I Vorbereitung					
1a Begutachtung der Anforderung	22	00:33	00:10	01:18	0,04
1b Gespräch mit Patienten und Aufklärung	30	03:06	00:30	07:00	1,17
II Untersuchung					
1c Festlegen der Untersuchungsstrategie	17	00:30	00:05	01:00	0,02
1e Intravenösen Zugang legen, evtl. Prämedikation	31	03:40	01:10	08:15	1,39
1f Überprüfung der Einstellung	27	00:30	00:05	01:14	0,04
1g Untersuchung am Monitor beobachten	12	00:56	00:10	02:00	0,09
1h Kontrastmittel-Einfluss im Untersuchungsraum kontrollieren	26	00:55	00:04	02:50	0,21
1i Untersuchung am Monitor beobachten	22	02:18	00:10	07:00	1,30
1j Evtl. Gespräch mit Patienten im Untersuchungsraum	11	02:02	00:10	05:00	0,65
III Nachbereitung					
1k Bilder am Leuchtkasten begutachten	26	05:23	00:50	14:20	5,06
1l Evtl. weitere Einstellungen bei der MTRA anfordern	1	01:39	01:39	01:39	0,00
1m Oberarzt anpiepen	4	00:43	00:10	01:20	0,04
1n Evtl. Voraufnahmen zum Vergleich begutachten	3	02:30	01:59	03:00	0,03
1o Besprechung des Kurzbefundes mit dem Oberarzt	6	02:38	01:00	05:00	0,44
1p Verfassen des Kurzbefundes	20	06:03	02:00	14:00	4,00
1q Evtl. Abschlussgespräch mit dem Patienten	3	00:42	00:30	01:00	0,01

Die Vorgänge, die zur weiteren Berechnung nicht berücksichtigt wurden, weil sie zu selten vorkamen, waren beim Arzt hauptsächlich in dem Abschnitt der Nachbereitung zu finden. Dies umfasste die Rücksprache mit dem Oberarzt beim möglichen Erstellen eines handschriftlichen Kurzbefundes (18,8% der Untersuchungen) und eine Begutachtung von möglicherweise vorhandenen Voraufnahmen (9,4%). Ausgenommen aus

der Netzplanung wurde auch der Arbeitsschritt des Diktierens von Befunden des letzten Patienten (53,1%), da dieser Vorgang nicht mit der laufenden Untersuchung im Zusammenhang stand (s. Tabelle 3-4, Seite 36).

Die MTRA 1 war überwiegend mit der Patientenbetreuung beschäftigt. Zusätzlich wurden administrative Aufgaben wie das Abrufen von stationären Patienten (53,1%) und die Abrechnung der Untersuchungsdaten getätigt. Einige notwendige, aber sehr kurzdauernde Vorgänge, wie das Kontrollieren des Kreatinin- und TSH-Wertes oder das Überreichen des Aufklärungsbogens an den Patienten mit 50% bzw. 62,5%, wurden nicht einzeln registriert sondern anderen Vorgängen untergeordnet. Ausgeschlossen von der weiteren Zeitanalyse wurden nur wenige Vorgänge (s. Tabelle 3-5).

Tabelle 3-5: Vorgänge der MTRA 1: PERT-Berechnungen.

CT S, Thoraxuntersuchung, mobile Patienten, n=32. n(V): Auftretenshäufigkeit der Vorgänge; RD: realistische Dauer; OD: optimistische Dauer; PD: pessimistische Dauer; VAR(D): Varianz der Dauer. Zeiten in Minuten. Pat.: Patient.

Nr.	Vorgang	n(V)	RD	OD	PD	VAR(D)
I Vorbereitung						
2a	Anforderungen und Akten des Pat./Begrüßung	27	00:42	00:05	02:21	0,14
2c	Arzt zur Begutachtung der Anforderungen rufen	4	00:19	00:07	00:40	0,01
2d	Kreatininwert kontrollieren bzw. nachfragen	16	00:43	00:07	02:10	0,12
2e	Pat. den Aufklärungsbogen geben	20	00:34	00:10	01:30	0,05
II Untersuchung						
2f	Vorbereitung des Untersuchungsraumes	29	03:08	00:10	10:00	2,69
2g	Pat. in den Untersuchungsraum bitten, Ablauf erklären	32	02:08	00:05	05:40	0,87
2h	Arzt zur Braunülenanlage rufen	11	00:33	00:04	01:20	0,04
2i	Patientenliege zum Topogramm einstellen	17	00:59	00:15	02:00	0,09
2j	Evtl. Prämedikation vorbereiten	6	01:54	00:22	04:40	0,51
2k	Evtl. neuen Pat. abrufen, evtl. telefonieren	17	01:33	00:04	04:00	0,43
2l	Aufklärungsbogen zum Durchlesen geben	5	00:43	00:29	01:00	0,01
2m	KM-Schlauch abklemmen, Pat. vom Tisch nehmen	31	03:22	00:41	06:00	0,79
3m	Tisch und Gantry säubern	31	01:34	00:05	04:00	0,43
3o	Untersuchung im RIS abrechnen	32	03:08	00:22	09:40	2,40
III Nachbereitung						
3l	Filme aus dem Drucker nehmen, sortieren	31	07:50	00:30	19:00	9,51
2o	Pat. die Bilder aushändigen, Verabschiedung	14	00:29	00:10	00:50	0,01

Die Arbeitsschritte der MTRA 2 wurden sehr häufig registriert. Nur wenige Arbeitsschritte wurden aus der Netzplanung herausgenommen (s. Tabelle 3-6).

Tabelle 3-6: Vorgänge der MTRA 2: PERT-Berechnungen.

CT S, Thoraxuntersuchung, mobile Patienten, n=32. n(V): Auftretenshäufigkeit der Vorgänge; RD: realistische Dauer; OD: optimistische Dauer; PD: pessimistische Dauer; VAR(D): Varianz der Dauer. Zeiten in Minuten.

Nr. Vorgang	n(V)	RD	OD	PD	VAR(D)
I Vorbereitung					
3b Patiententüten kleben u. beschriften, Voraufnahmen	28	01:35	00:10	03:20	0,28
3c Evtl. Voraufnahmen aus dem Archiv/CT holen	2	02:40	01:00	04:40	0,37
II Untersuchung					
2b Patientendaten im Kliniksystem (RIS) eingeben	20	01:20	00:07	03:20	0,29
3d Patientendaten eingeben und CT-Topogramm laden	32	01:51	00:12	05:10	0,69
3e Topogramm durchführen, Untersuchung planen	32	01:47	00:18	03:50	0,35
3f Kontrastmittelplanung	26	00:53	00:10	02:50	0,20
3g Untersuchung durchführen	32	10:30	01:00	32:19	27,24
3i Nachverarbeitung (Lungenfenster, Topogramm)	30	07:39	00:30	15:10	5,98
III Nachbereitung					
3k Evtl. erneute Nachbearbeitung der Bilder	8	03:26	00:30	08:00	1,56
2n Zugang des Patienten ziehen	11	01:14	00:10	03:10	0,25
3n Transport rufen	7	00:23	00:05	00:40	0,01
3p Technischer Faktor	5	02:11	02:00	03:00	0,03

3.3 Phase III – Prozessmodell anfertigen

3.3.1 Berechnungen der Wahrscheinlichkeitsverteilung (PERT)

Bei der optimistischen Zeitdauer der Vorgänge beim Arzt konnten meist Zeiten unter einer Minute gemessen werden. Bei den pessimistischen Zeiten waren in der Vorbereitungszeit die Aufklärung des Patienten mit 7:00 Minuten und das Legen des intravenösen Zugangs mit 8:15 Minuten (Vorgänge 1b und 1e) verlängert. Als Grund wurde in diesem Zusammenhang der Einsatz von Ärzten und Ärztinnen in Weiterbildung aufgeführt. Ebenfalls längere pessimistische Arbeitszeiten stellten sich während der Analyse der Aufnahmen mit 14:20 Minuten und des meist gleichzeitig stattfindenden Kurzbefundens mit 14:00 Minuten ein (Vorgänge 1k und 1p in Tabelle 3-4, Seite 36). Ursächlich dafür war die unterschiedliche Erfahrung der Ärzte im Befunden.

Sämtliche Vorgänge der MTRA 1 konnten mit einer optimistischen Zeit unter einer Minute festgehalten werden. Realistisch lagen dort längere Zeiten vor, wo die Varianz VAR (D) erhöht war (s. Tabelle 3-5, Seite 37). Mit einer Varianz von 9:31 Minuten zeigte

sich dies besonders in dem Arbeitsschritt 3l – Filme aus dem Drucker nehmen und sortieren. Diese Verzögerungen kamen durch die teilweise großen Zeitabstände zwischen ersten und letzten Ausdruck zustande.

Bei den Arbeitsvorgängen der MTRA 2 war die Durchführung der Untersuchung von großer Varianz. Zeigten die Messungen in den häufigsten Fällen Zeiten zwischen einer Minute und acht Minuten, so dauerten fünf Untersuchungen zwischen 14 und 22 Minuten. Im pessimistischen Fall wurde eine Zeit von 32:19 Minuten gemessen (s. Abbildung 3-2).

Die Ursache für lange Verzögerungen waren in den meisten Fällen erweiterte Untersuchungen durch Wiederholungen oder Protokollabweichungen. Technische Probleme des Gerätes waren in einem Fall der Grund für eine Verlängerung der Untersuchungszeit.

Ein weiterer variabler Vorgang war das Nachverarbeiten der rekonstruierten Bilder (3i), das sich auch nachhaltig auf das Drucken der Filme und anschließende Kurzbefunden auswirkte. Dabei wurde eine Varianz von 5:59 Minuten gemessen (s. Tabelle 3-6, Seite 38).

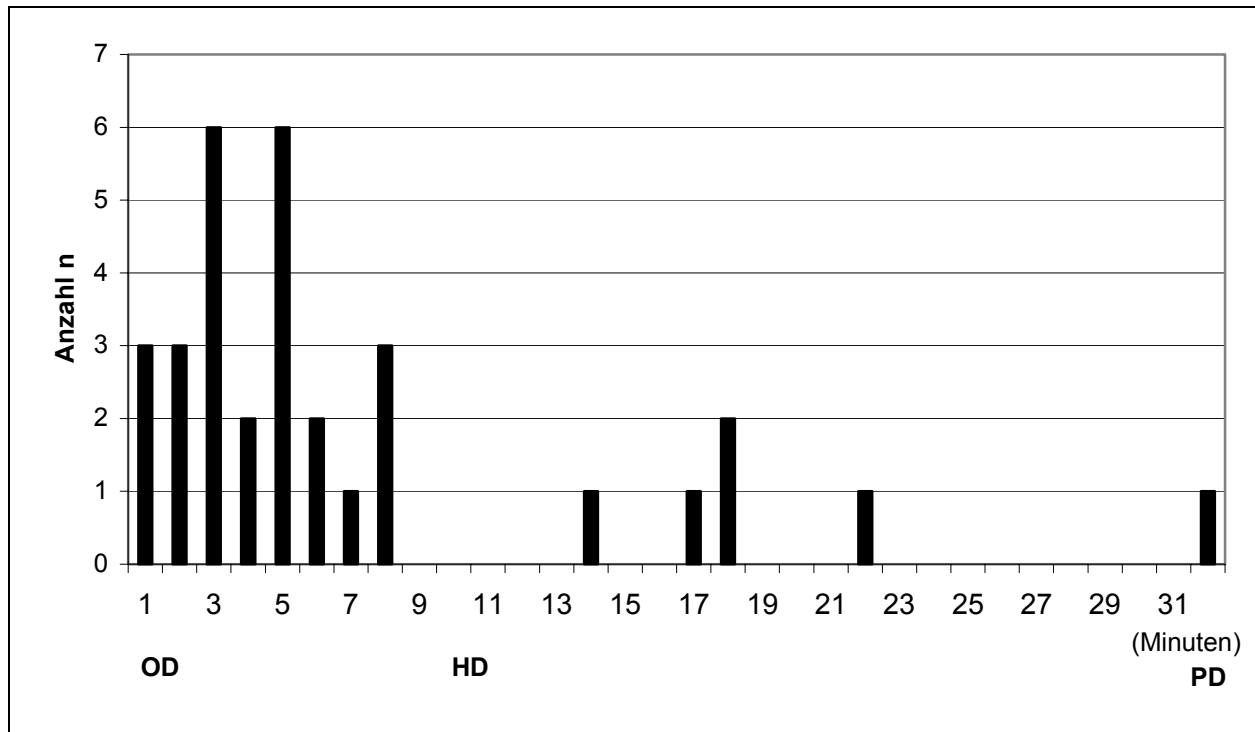


Abbildung 3-2: Histogramm der Verteilung der gemessenen Zeitdauer des Vorganges 3g - Untersuchung durchführen.

CT S, Thoraxuntersuchung, mobile Patienten, n=32. OD: Optimistische Dauer; HD: Häufigste Dauer; PD: Pessimistische Dauer.

3.3.2 Erstellen des Netzplans (CPM)

Die durch PERT gewonnenen realistischen Vorgangszeiten wurden nun in einem ersten Schritt auf den Netzplan übertragen. Um die zeitliche Reihenfolge der einzelnen Arbeitsschritte zu berücksichtigen wurden die Anfangszeiten jedes Vorganges im Durchschnitt zur Orientierung verwendet.

Dieser Plan (Abbildung 3-3, Seite 41) zeigte in einigen Abschnitten, dass Vorgänge von derselben Person parallel durchgeführt wurden. Dies wurde mit den Ergebnissen der gemessenen Zeitdauer im Einzelnen noch einmal verglichen.

Dabei zeigte sich bei den Vorgängen 1k und 1p – Bilder am Leuchtkasten begutachten und Verfassen des Kurzbefundes – eine Gleichzeitigkeit, die berücksichtigt werden musste. Ein weiteres Beispiel waren der Vorgang 3h – KM-Parameter einstellen –, der während des Vorganges 3g – Durchführung der Untersuchung – stattfand. In diesen Fällen wurde die Anfang-Anfang-Beziehung verwendet.

Weiterhin wurden Vorgänge identifiziert, die bisher fest einer Arbeitskraft zugeordnet wurden, sich aber im gesamten Verlauf als kritisch erwiesen. Soweit möglich wurden daher Vorgänge von der Arbeitskraft übernommen, die dafür ausreichend Pufferzeiten zur Verfügung hatte. Dies wurde bei den durchgeführten Messungen in 23 von 32 Fällen (71,9%) beobachtet.

Folgende zusätzliche Vorgänge wurden selten gemessen und im fortschreitenden Erstellen des Netzplans nicht berücksichtigt:

Dazu zählten beim Arzt Telefonate (9,3%), Legen und Spülen des Zugangs (6,2%) und ein Aufklärungsgespräch (3,1%) (zusammengefasst in den Vorgängen 1r und 1s). Bei der MTRA 1 waren ebenso Telefonate zusätzlich in 12,5%, Transporttätigkeiten in 12,5% und versorgende Aufgaben in 6,2% der Fälle zu verzeichnen (Vorgänge 2p und 2q). Die MTRA 2 war in 6,2% mit Terminplanungen und in 3,1% der Messungen mit einem Gespräch mit dem Patienten neben den regulären Vorgängen beschäftigt (Vorgänge 3q und 3r). Der Technische Faktor (Vorgang 3p) und damit der technische Versorgungsfaktor war mit 5 von 32 Untersuchungen selten zu beobachten (15,6%).

Diese selten auftretenden Vorgänge wurden im fortschreitenden Erstellen des Netzplans nicht berücksichtigt.

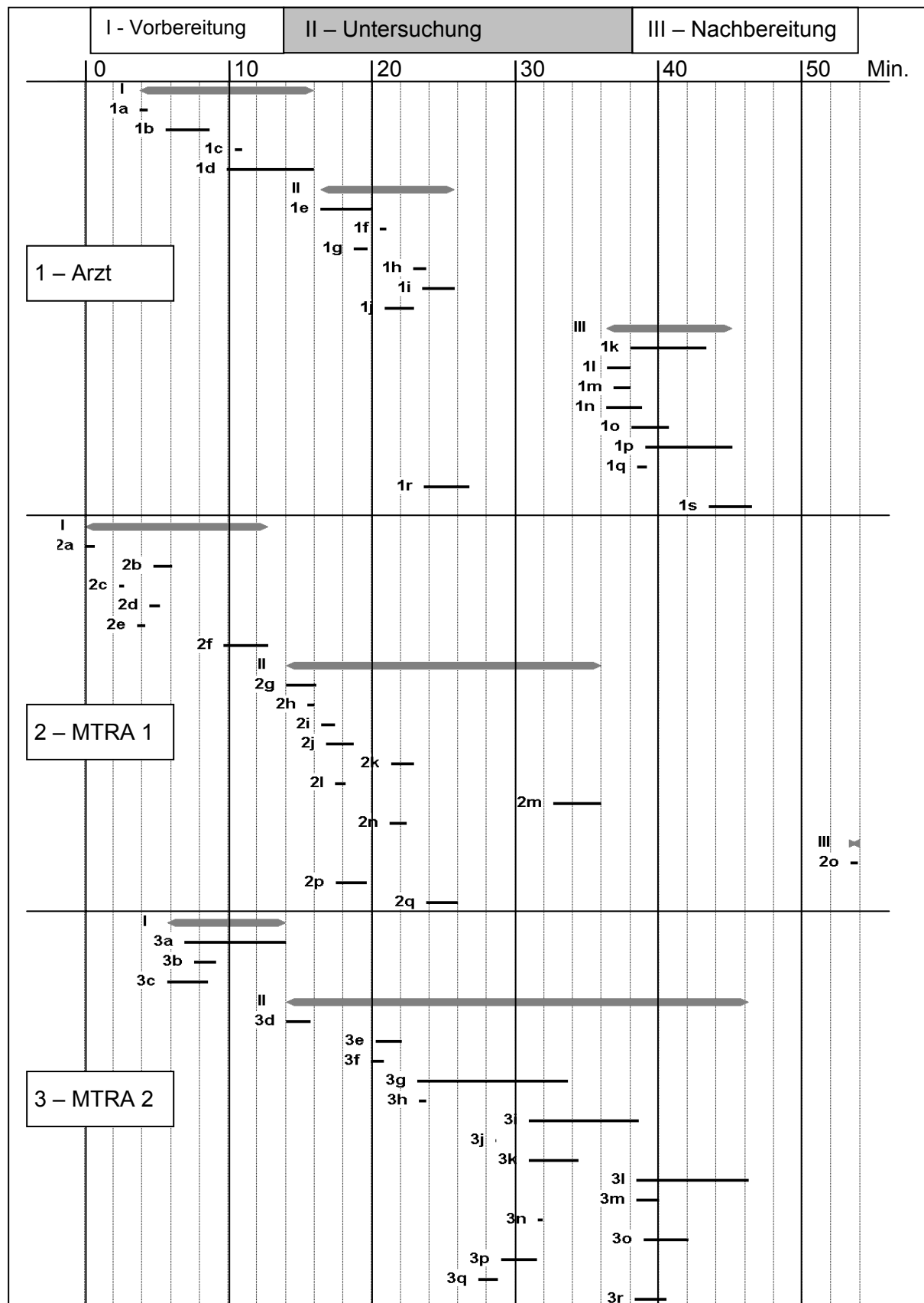


Abbildung 3-3: Rohplan vor Prozessoptimierung.

CT S, Thoraxuntersuchung, mobile Patienten. Abschnitte als Sammelvorgänge (dunkelgraue Balken): I: Vorbereitung, II: Durchführung, III: Nachbereitung; Zeit in Minuten (Min.). Beschreibung der Vorgänge (schwarze Striche) siehe Tabelle 3-4 bis 3-6, Seiten 36ff.

3.3.2.1 Bestimmung der zeitlichen Abfolge

In diesem Rohplan (Abbildung 3-3, Seite 41) konnten unter Berücksichtigung der technischen Abhängigkeiten die Vorgänger jedes Arbeitsschrittes definiert werden. Dazu wurde die Ende-Anfang-Beziehung verwendet.

Während der Vorbereitung und der beginnenden Untersuchungszeit zeigte sich eine enge Verknüpfung zwischen Arzt und MTRA 1. Diese Scheinvorgänge fanden sich zu Beginn der Untersuchungszeit ebenfalls zwischen der MTRA 2 und dem Arzt sowie der MTRA 1. Nach Beendigung der Untersuchung wurden Abhängigkeiten von technischen Leistungen wie das Verarbeiten und Drucken der Bilder berücksichtigt.

3.3.2.2 Berechnung der frühesten und spätesten Zeitpunkte

Zur Optimierung des Netzplans wurden nun die kritischen Vorgänge sowie die Abhängigkeiten untereinander auf Verschiebung, Vermeidung oder Tausch der Zuordnungen einzelner Vorgänge für Mitarbeiter überprüft. Der somit modifizierte Netzplan wurde dann der genauen Analyse unterzogen.

3.3.2.3 Kritische Vorgänge

Die kritischen Vorgänge während der Vorbereitung der Untersuchung waren sowohl bei der MTRA 1 als auch dem Arzt zu erwarten (Abbildung 3-4, Seite 43). Dabei stand die Aufklärung des Patienten über die Gabe von Kontrastmittel sowie die Vorbereitung der Kontrastmittelgabe im Vordergrund (Vorgänge 2a, 2e, 1b, 1e).

Während der Untersuchungszeit spielten die Arbeitsschritte zur richtigen Auswahl der Untersuchungseinstellung am Gerät eine besondere Rolle. Die Bedienung des Gerätes durch die MTRA 2 und die Kontrolle der Einstellungen durch den Arzt lagen dabei auf dem kritischen Pfad (Vorgänge 1c, 3d, 1f, 3f, 3e, 3g, 3h).

Nach der durchgeführten Untersuchung waren die Vorgänge im Untersuchungsraum als kritisch errechnet worden. Dazu wurde der Patient von der MTRA 1 aus dem Raum geleitet und anschließend der Untersuchungstisch gesäubert (Vorgänge 2m, 3m). Der letzte kritische Vorgang zum Abschluss der Untersuchung war die Abrechnung im RIS (Vorgang 3o).

Der kritische Pfad während der Nachbereitung wurde durch die parallel stattfindenden Vorgänge der Bilder zur Verfügung stellen und gleichzeitigen Kurzbefunden (Vorgang 3l, 1k, 1p) aufgezeigt. Der letzte Vorgang war die Verabschiedung des Patienten durch die MTRA 1 (Vorgang 2o).

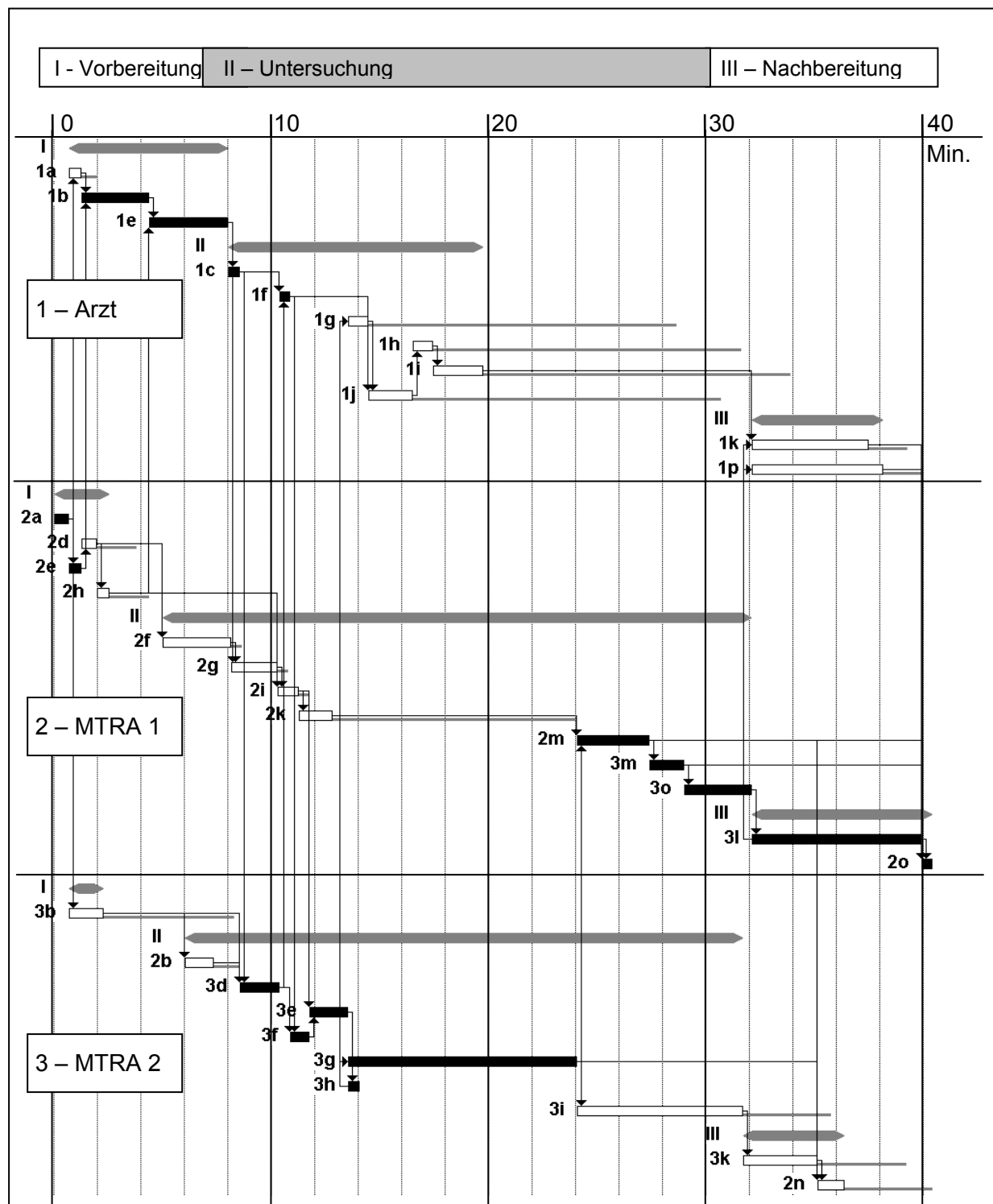


Abbildung 3-4: Realistischer Vorgangsplan nach Projektoptimierung.

CT S, Thoraxuntersuchung, mobile Patienten. Kritische Vorgänge in schwarz; Abschnitte in dunkelgrau (I: Vorbereitung; II: Durchführung; III: Nachbereitung); Nichtkritische Vorgänge in grau; Gesamte Pufferzeit nach nichtkritischen Vorgängen in hellgrau. Zeit in Minuten (Min.). Beschreibung der Vorgänge siehe Tabelle 3-7 bis 3-9, Seite 44f.

3.3.2.4 Pufferzeiten

Geringe Pufferzeiten wurden während der Vorbereitung bei den Vorgängen 1a des Arztes und 2d bzw. 2h der MTRA 1 errechnet. Der Vorgang der MTRA 2 hatte eine Gesamtpufferzeit von 6:00 Minuten zu verzeichnen. Die Untersuchungszeit war für den Arzt über die kritischen Vorgänge 1c und 1f hinaus mit sehr langen Gesamtpufferzeiten von 14:10 Minuten nichtkritisch. Die Nachbereitung war mit einer gesamten Pufferzeit von 1:47 Minuten als vorrangige Tätigkeit anzusehen.

Unmittelbar während die Untersuchung arbeitete die MTRA 2 ohne Pufferzeit (Vorgänge 3e – 3g), während danach eine Pufferzeit von 4:04 Minuten errechnet wurde. Anhand der Berechnungen im Netzplan zeigte sich für die MTRA 1 eine Pufferzeit von 11:15 Minuten während der unmittelbaren Untersuchung (Vorgang 3g). Die folgenden Arbeitsschritte lagen alle auf dem kritischen Pfad (Abbildung 3-4, Seite 43).

Tabelle 3-7: Vorgänge des Arztes: CPM nach Projektoptimierung.

CT S, Thoraxuntersuchung, mobile Patienten. FAZ: Frühester Anfangszeitpunkt; SAZ: Spätester Anfangszeitpunkt; FEZ: Frühester Endzeitpunkt; SEZ: Spätester Endzeitpunkt; FP: Freie Pufferzeit; GP: Gesamte Pufferzeit. Zeiten in Minuten.

Nr. Vorgang	n:	FAZ	SAZ	FEZ	SEZ	FP	GP
	32						
I Vorbereitung							
1a Begutachtung der Anforderung	22	00:42	01:28	01:15	02:01	00:01	00:46
1b Gespräch mit Patienten und Aufklärung	30	01:16	01:16	04:22	04:22	00:00	00:00
1e Intravenösen Zugang legen, evtl. Prämedikation	31	04:22	04:22	08:02	08:02	00:00	00:00
II Untersuchung							
1c Festlegen der Untersuchungsstrategie	17	08:02	08:02	08:32	08:32	00:00	00:00
1f Überprüfung der Einstellung	27	10:23	10:23	10:53	10:53	00:00	00:00
1g Untersuchung am Monitor beobachten	12	13:33	27:43	14:29	28:39	00:00	14:10
1h KM-Einfluss im Untersuchungsraum kontrollieren	26	16:31	30:41	17:26	31:36	00:00	14:10
1i Untersuchung am Monitor beobachten	22	17:26	31:36	19:44	33:54	12:23	14:10
1j Gespräch mit Patienten im Untersuchungsraum	11	14:29	28:39	16:31	30:41	00:00	14:10
III Nachbereitung							
1k Bilder am Leuchtkasten begutachten	26	32:07	33:54	37:30	39:17	00:00	01:47
1p Verfassen des Kurzbefundes	20	32:07	33:54	38:10	39:57	01:47	01:47

Tabelle 3-8: Vorgänge der MTRA 1: CPM nach Projektoptimierung.

CT S, Thoraxuntersuchung, mobile Patienten. FAZ: Frühester Anfangszeitpunkt; SAZ: Spätester Anfangszeitpunkt; FEZ: Frühester Endzeitpunkt; SEZ: Spätester Endzeitpunkt; FP: Freie Pufferzeit; GP: Gesamte Pufferzeit. Zeiten in Minuten. Pat.: Patient.

Nr. Vorgang	n:	FAZ	SAZ	FEZ	SEZ	FP	GP
	32						
I Vorbereitung							
2a Anforderungen und Akten des Pat./Begrüßung	27	00:00	00:00	00:42	00:42	00:00	00:00
2d Kreatininwert kontrollieren bzw. nachfragen	16	01:16	03:06	01:59	03:49	00:00	01:50
2e Pat. den Aufklärungsbogen geben	20	00:42	00:42	01:16	01:16	00:00	00:00
2h Arzt zur Braunülenanlage rufen	11	01:59	03:49	02:32	04:22	01:50	01:50
II Untersuchung							
2f Vorbereitung des Untersuchungsraumes	29	05:00	05:31	08:08	08:39	00:00	00:31
2g Pat. in den Untersuchungsraum bitten, Ablauf erklären	32	08:08	08:39	10:16	10:47	00:00	00:31
2i Patientenliege zum Topogramm einstellen	17	10:16	10:47	11:15	11:46	00:00	00:31
2k Neuen Pat. abrufen, evtl. telefonieren	17	11:15	22:30	12:48	24:03	11:15	11:15
2m KM-Schlauch abklemmen, Pat. vom Tisch nehmen	31	24:03	24:03	27:25	27:25	00:00	00:00
3m Tisch und Gantry säubern	31	27:25	27:25	28:59	28:59	00:00	00:00
3o Untersuchung im RIS abrechnen	32	28:59	28:59	32:07	32:07	00:00	00:00
III Nachbereitung							
3l Filme aus dem Drucker nehmen, sortieren	31	32:07	32:07	39:57	39:57	00:00	00:00
2o Pat. die Bilder aushändigen, Verabschiedung	14	39:57	39:57	40:26	40:26	00:00	00:00

Tabelle 3-9: Vorgänge der MTRA 2: CPM nach Projektoptimierung.

CT S, Thoraxuntersuchung, mobile Patienten. FAZ: Frühester Anfangszeitpunkt; SAZ: Spätester Anfangszeitpunkt; FEZ: Frühester Endzeitpunkt; SEZ: Spätester Endzeitpunkt; FP: Freie Pufferzeit; GP: Gesamte Pufferzeit. Zeiten in Minuten.

Nr. Vorgang	n:	FAZ	SAZ	FEZ	SEZ	FP	GP
	32						
I Vorbereitung							
3b Patiententüten kleben u. beschriften, Voraufnahmen	28	00:42	06:42	02:17	08:17	00:43	06:00
II Untersuchung							
2b Patientendaten im Kliniksystem (RIS) eingeben	20	06:00	07:12	07:20	08:32	01:12	01:12
3d Patientendaten eingeben und CT-Topogramm laden	32	08:32	08:32	10:23	10:23	00:00	00:00
3e Topogramm durchführen, Untersuchung planen	32	11:46	11:46	13:33	13:33	00:00	00:00
3f Kontrastmittelplanung	26	10:53	10:53	11:46	11:46	00:00	00:00
3g Untersuchung durchführen	32	13:33	13:33	24:03	24:03	00:00	00:00
3h KM-Parameter einstellen	23	13:33	13:33	14:03	14:03	00:00	00:00
3i Nachverarbeitung (Lungenfenster, Topogramm)	30	24:03	28:07	31:42	35:46	00:00	04:04
III Nachbereitung							
3k Evtl. erneute Nachbearbeitung der Bilder	8	31:42	35:46	35:08	39:12	00:00	04:04
2n Zugang des Patienten ziehen	11	35:08	39:12	36:22	40:26	04:04	04:04

3.4 Phase IV – Auswertung der Kategorien

3.4.1 Auswertung der Personal-Gruppe

Wie bereits im Kapitel 3.3, Seite 38ff, ausführlich beschrieben, wurden ein Arzt und zwei MTRA im Netzplan berücksichtigt. Dabei wurde die enge Verflechtung, die terminlich und technologisch notwendig war, so optimiert, dass für alle Beteiligten eine geringe Pufferzeit ausgewiesen wurde. Im Sammelvorgang II, der Kernzeit, wurden diejenigen Vorgänge in den Netzplan aufgenommen, die zwingend notwendig für den Ablauf der Untersuchung im Untersuchungsraum sind. Dies wurde in dem Vorgangsplan umrahmt durch die Vorgänge 2f – Vorbereitung des Untersuchungsraumes – und 3o – Abrechnung der Untersuchung im RIS. Alle weiteren vorangehenden Vorgänge wurden den Sammelvorgang I und die nachfolgenden Vorgänge dem Sammelvorgang III zugeordnet.

Tabelle 3-10: Zeiten der Sammelvorgänge und Gesamtdauer vor und nach Projektoptimierung. CT S, Thoraxuntersuchung, mobile Patienten. Gemessene Zeit vor und optimierte Zeit nach Projektoptimierung. Zeiten in Minuten.

	Arzt (optimiert)	MTRA 1 (optimiert)	MTRA 2 (optimiert)	Gesamt (gemessen)	Gesamt (optimiert)
I - Vorbereitung	5:00	2:32	1:35	9:52	5:00
II - Untersuchung	14:02	15:51	24:00	36:01	27:07
III - Nachbereitung	6:03	8:19	4:40	8:55	8:19
Gesamt (gemessen)	20:37	11:35	33:23	54:48	
Gesamt (optimiert)	25:05	26:42	30:15		40:26

Dabei zeigte sich nach Berechnung im Netzplan eine optimierte Gesamtuntersuchungsdauer von 40:26 Minuten gegenüber gemessenen 54:48 Minuten und somit eine Reduktion der Zeitdauer von 26,2%. Die realistische Durchführungszeit des Sammelvorgangs II wurde mit 27:07 Minuten (-24,7% i. Vgl. zur gemessenen Dauer) errechnet (s. Tabelle 3-10). Dies wurde durch Verlagerung von Vorgängen an Arbeitskräfte mit Pufferzeit und Umstellung von Vorgängen im zeitlichen Ablauf erreicht. Ferner wurden Arbeitsschritte parallel durchgeführt, beispielsweise das Begutachten und Kurzbefunden am Leuchtkasten (1k und 1p). Das Arbeitspensum würde sich nach Netzplanberechnung für den Arzt und die MTRA 1 auf 25:05 bzw. 26:42 Minuten erhöhen, während die MTRA 2 im Vergleich zu den gemessenen Daten entlastet würde. Der

Hintergrund dafür liegt in der Berücksichtigung aller realistisch vorkommenden Arbeitsschritte.

Neben dem Sammelvorgang II könnten auch die Dauer der Sammelvorgänge I und III unter Verwendung der Netzplantechnik auf 5:00 (-49,3%) bzw. 8:19 Minuten (-6,7%) reduziert werden (s. Abbildung 3-5). Die Auslastung der Arbeitskräfte im Verhältnis zur Dauer würde sich von 39,9% auf 67,6% erhöhen.

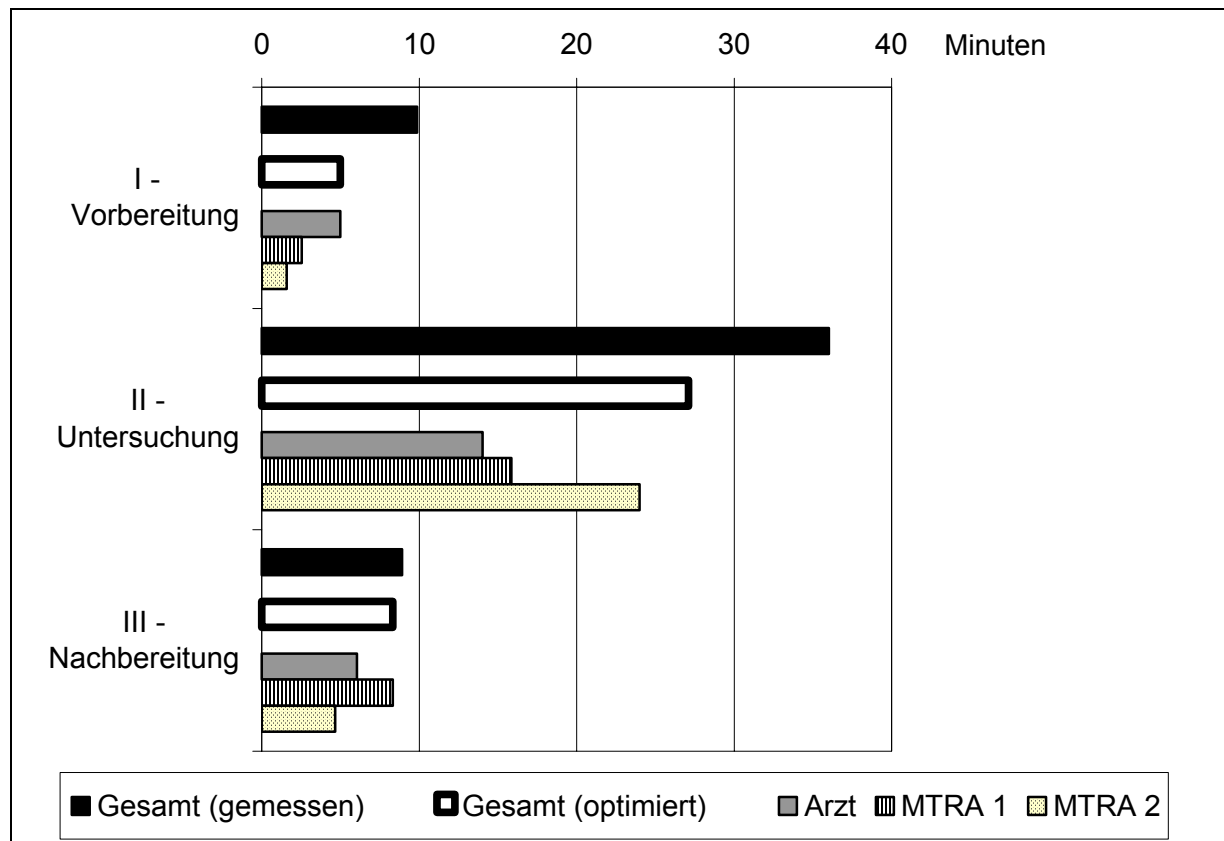


Abbildung 3-5: Dauer der Sammelvorgänge vor und nach Projektoptimierung.

CT S, Thoraxuntersuchung, mobile Patienten. Gemessene Gesamtdauer vor und optimierte Gesamtdauer nach Projektplanung mit Zuordnung zu den Arbeitskräften (Arzt, MTRA 1, 2).

3.4.2 Auswertung der Patienten-Gruppe

In der Kategorie der mobilen Patienten lagen Fallzahlen von 32 Patienten vor. Die Anzahl der gemessenen Untersuchungen der bettlägerigen Patienten war 21, die Zeiten für Intensivpatienten wurden während acht Untersuchungen erhoben.

Dabei wurde der Schwerpunkt auf die realistische und optimistische Untersuchungszeit entsprechend der Durchführungszeit gelegt und für alle drei Kategorien berechnet.

Als Ausgangswert dienten die tatsächlich beobachteten Untersuchungsdauer, diese wurden mit Hilfe von CPM und PERT den gegebenen Arbeitsplatzumständen berechnet und schließlich für verbesserte Konditionen optimiert.

Diese beinhalteten das frühere Ausführen der Vorgänge 1e – Intravenösen Zugang legen – und 2h – Arzt zum Legen des Zugangs rufen – bereits während der Vorbereitung.

Diese drei Berechnungen der Patientenkategorien wurden sowohl in der realistischen als auch in der optimistischen Zeit erfasst.

Abbildung 3-6 zeigt im mobilen Patientengut (M) eine realistische Durchführungszeit von 31:13 Minuten, die noch unter zusätzlicher Optimierung auf 27:07 Minuten gesenkt werden könnte. Der gemessene Ausgangswert war 36:01 Minuten. Die schnellste beobachtete Durchführungsdauer betrug 15:40 Minuten, die unter optimistischen Bedingungen auf 4:23 Minuten und verbessert auf 3:03 Minuten verringert werden könnte.

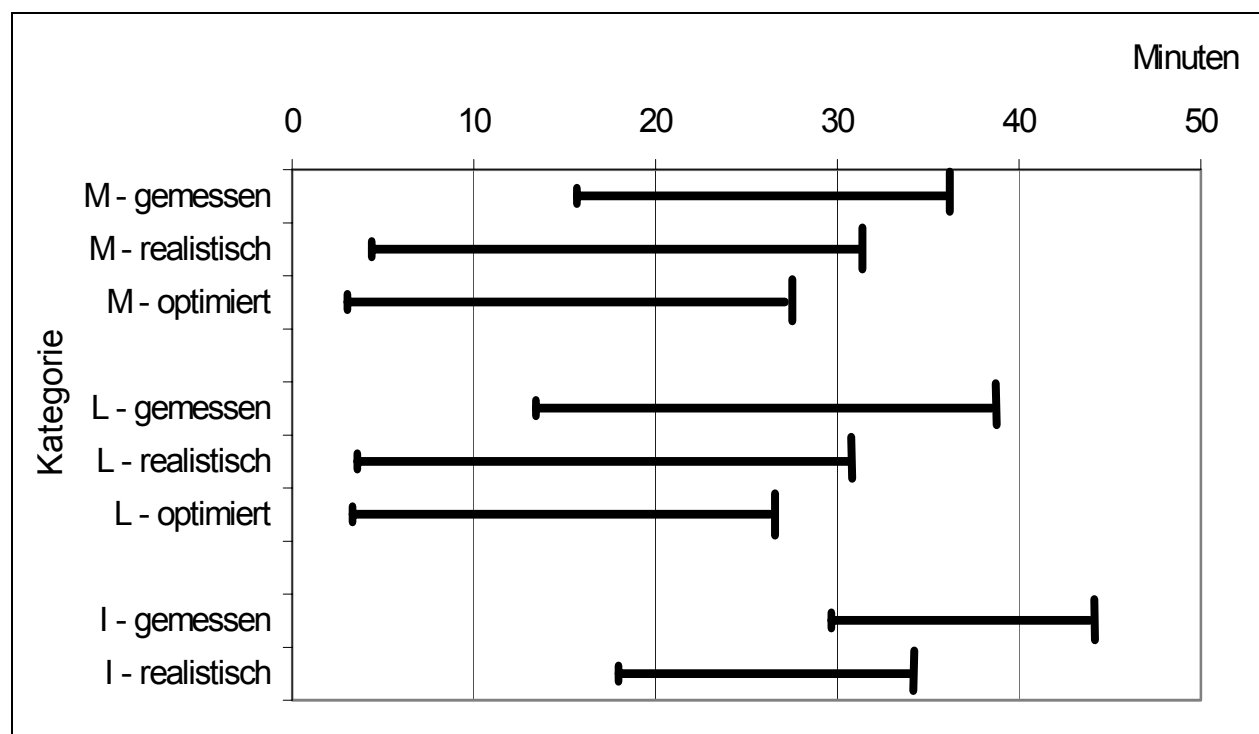


Abbildung 3-6: Vergleich der realistischen (langer Strich) und optimistischen Durchführungsdauer (kurzer Strich) bei unterschiedlichen Patientenkategorien.

CT S, Thoraxuntersuchung. M: mobile Patienten; L: bettlägerige Patienten; I: Intensivpatienten. Gemessen: Vor Netzplanberechnung. Realistisch : Nach Netzplanberechnung. Optimierte: Nach Netzplanberechnung und Reorganisation.

Gleiche Ergebnisse sind in der Kategorie der bettlägerigen Patienten (L) zu erwarten. Berechnet wurde eine etwas längere Durchführungszeit von 38:30 Minuten. Mit Hilfe der Netzplantechnik würden 30:38 Minuten, bzw. 26:18 Minuten unter optimierten Bedingungen erreicht. Die kürzeste gemessene Durchführungszeit war 13:25 Minuten. Diese könnte im optimistischen Falle auf 3:35 Minuten und bis zu 3:20 Minuten unter optimierten Berechnungen gedrückt werden.

Anders sieht es dagegen in der Kategorie der Intensivpatienten (I) aus.

Hier spielen erwähnte Vorgänge, vor allem 2g, aber auch 2m die entscheidend verlängernden Faktoren für die gesamte Durchführungszeit. So dauerte die Untersuchung mit dem Patienten im Untersuchungsraum 43:53 Minuten, die kürzeste Dauer war mit 29:40 Minuten noch fast doppelt so lang wie in den anderen beiden Patientenkategorien. Da bei Intensivpatienten venöse Zugänge meistens vorhanden waren, wurde nur ein Berechnungsmodus mit der Prozessoptimierung erhoben. Danach wäre realistisch von einer Durchführungszeit von 33:59 Minuten und im optimistischen Fall von 17:57 Minuten auszugehen (s. Tabelle 3-11).

Tabelle 3-11: Realistische und optimistische Durchführungszeit vor und nach Netzplanberechnung.

CT S, Thoraxuntersuchungen, verschiedene Patienten-Kategorien. M: mobile Patienten; L: bettlägerige Patienten; I: Intensivpatienten. Gemessen: Vor Netzplanberechnung. realistisch: Nach Netzplanberechnung. Optimiert: Nach Netzplanberechnung und Reorganisation. Zeiten in Minuten.

	Realistisch	Optimistisch
M - gemessen	36:01	15:40
M - realistisch	31:13 (-13,3%)	4:23 (-72%)
M - optimiert	27:07 (-24,7%)	3:03 (-80,5%)
L - gemessen	38:30	13:25
L - realistisch	30:38 (-20,4%)	3:35 (-73,3%)
L - optimiert	26:18 (-31,7%)	3:20 (-75,2%)
I - gemessen	43:53	29:40
I - realistisch	33:59 (-22,6%)	17:57 (-39,5%)

3.4.3 Auswertung der Tomographen-Gruppe

Der Vergleich der Computertomographen zwischen der älteren Generation, dem CT S, und der neueren Generation, dem CT 4, zeigt längere Durchführungszeiten für die Untersuchung des Kopfes ohne und mit Kontrastmittel für die ältere Generation (CT S) in allen Patientenkategorien.

Die erhobenen Messungen im Arbeitsbereich des CT S ergaben durchschnittliche Werte zwischen 32:37 Minuten und 36:16 Minuten. Diese Zahlen könnten nach Durchführung der Prozessmanagementmethoden um 3:24 bis 9:34 Minuten verbessert werden. Somit sind eine Zeiteinsparung von 9,7% bei mobilen Patienten bis zu 26,4% bei Intensivpatienten möglich (s. Abbildung 3-7).

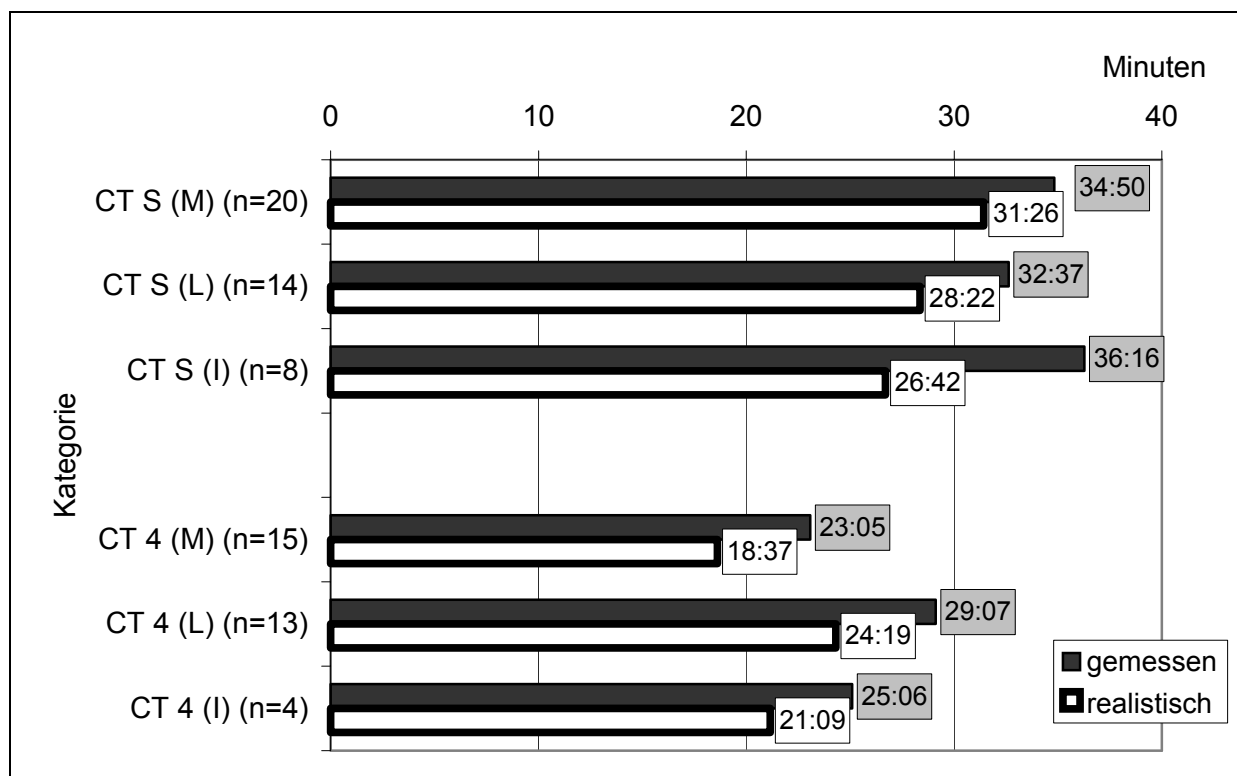


Abbildung 3-7: Gemessene und realistische Durchführungszeiten für Kopfuntersuchungen im CT S und CT 4.

M: mobile Patienten; L: bettlägerige Patienten; I: Intensivpatienten. Gemessen: Vor Netzplanoptimierung. Realistisch: Nach Netzplanoptimierung.

Im Bereich des CT 4 wurden Durchführungszeiten von 23:05 Minuten bis 29:07 Minuten durchschnittlich gemessen. Das Potential für zeitliche Reduktionen liegt zwischen den Kategorien bei 3:57 bis 4:48 Minuten. Dadurch könnte die durchschnittliche realistische Durchführungszeit zwischen 15,7% und 19,3% verkürzt werden (s. Abbildung 3-7).

Tabelle 3-12: Vergleich der Durchführungszeiten für Kopfuntersuchung im CT S und CT 4 nach Netzplanberechnung.

Optimistische, realistische und pessimistische Durchführungszeiten. M: mobile Patienten; L: bettlägerige Patienten; I: Intensivpatienten. Zeiten in Minuten.

	Optimistisch	Realistisch	Pessimistisch
CT S (M)	06:54	31:26	62:49
CT S (L)	08:06	28:22	49:00
CT S (I)	05:05	26:42	57:20
CT 4 (M)	04:50	18:37	36:52
CT 4 (L)	08:35	24:19	49:15
CT 4 (I)	10:40	21:09	32:55

Beim Vergleich der Durchführungszeiten (s. Tabelle 3-12) zeigten sich größere Varianzen im CT S in allen Patienten-kategorien, während die Zeiten im CT 4 eine geringere Differenz zwischen pessimistischer und optimistischer Zeitdauer vorwiesen (s. Abbildung 3-8).

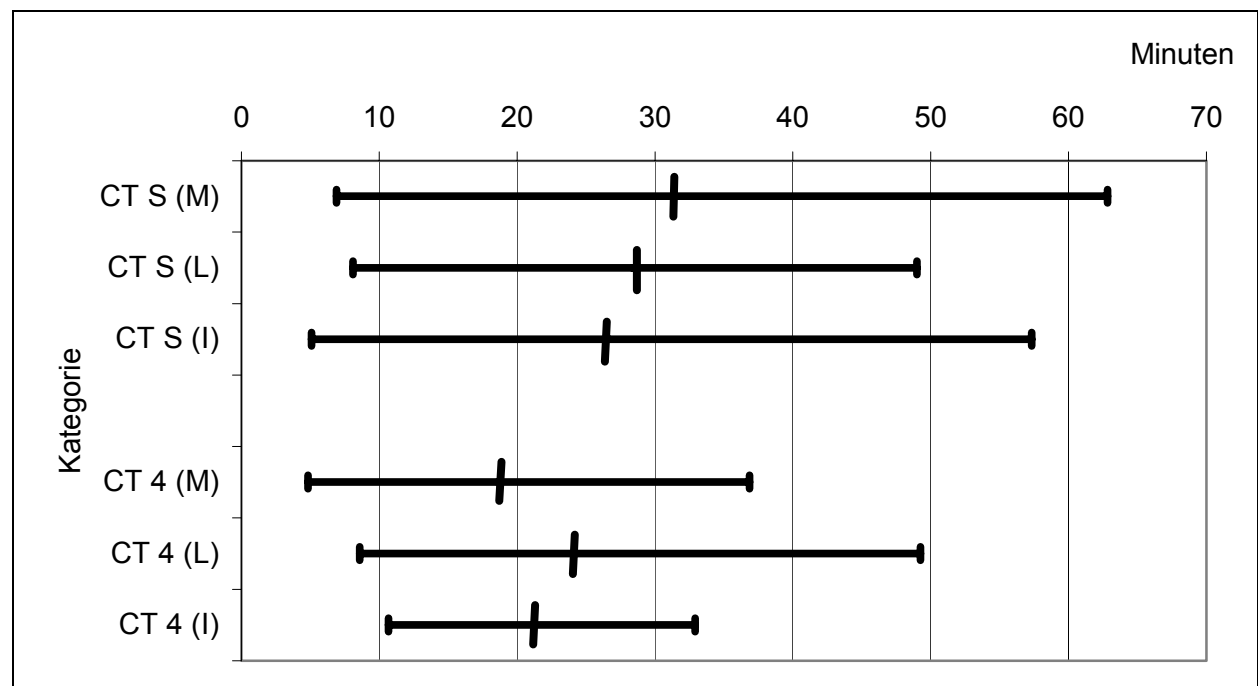


Abbildung 3-8: Vergleich der Durchführungszeiten für Kopfuntersuchung im CT S und CT 4 nach Netzplanberechnung.

Optimistische, realistische (langer Strich) und pessimistische Durchführungszeiten. M: mobile Patienten; L: bettlägerige Patienten; I: Intensivpatienten.

4 Diskussion

Unter Verwendung der Netzplantechnik wurde eine gründliche Zeitanalyse der organisatorischen Strukturen und der Arbeitsabläufe am Arbeitsplatz für Computertomographie durchgeführt. Die Dauer und Auftretenshäufigkeit der einzelnen Vorgänge wurden gemessen und statistisch aufbereitet, um anschließend mit den Strukturinformationen in den Netzplan einzufließen. Der Netzplan wurde unter optimistischer, realistischer und pessimistischer Betrachtung ausgewertet und der kritische Pfad ermittelt.

Anhand des Netzplans konnte der Effekt von Veränderungen des Arbeitsablaufs antizipiert werden. Durch Hinzufügen, Weglassen oder Verändern von Vorgängen oder Umverteilung von Ressourcen verändert sich der gesamte Ablauf in Abhängigkeit von seiner Struktur. Als günstig erkannte Veränderungen konnten nun in den Arbeitsablauf übernommen werden.

Im Einzelnen konnte so gezeigt werden, dass

1. die Netzplantechnik als Methode in einem medizinischen Arbeitsbereich sinnvoll eingesetzt werden kann. Insbesondere können so zeitlich und qualitativ verlässliche Arbeitsabläufe entwickelt und eingesetzt werden.
2. durch Zeitstraffung kritischer Vorgänge und bewusste Planung der Untersuchungen eine erhöhte Auslastung der Geräte und eine ausgeglichene Verteilung der Arbeit auf das Personal unterstützt werden kann. Der Fokus wurde dabei auf häufig gemessene und für den Untersuchungsablauf notwendige Arbeitsschritte gelegt. Pufferzeiten konnten zum flexiblen Verschieben von Vorgängen verwendet werden. Sie ermöglichen somit eine vereinfachte personelle Zuordnung der anfallenden Aufgaben.
3. unterschiedliches Patientengut und der Einsatz von verschiedenen Gerätegenerationen Auswirkungen auf den Arbeitsablauf haben, welche bereits vor der Untersuchung berücksichtigt werden sollten, um die Planungssicherheit zu gewährleisten. So könnte beispielsweise bei Notfalluntersuchungen schneller auf Abweichungen vom Plan reagiert werden. Zeitschwankungen einzelner Vorgänge

während der Durchführung sollten auf diese Weise reduziert werden. Unterschiedlich eingesetztes Personal zeigte an beiden Geräten eine vergleichbare Varianz der Zeitdauer von Routinevorgängen. Am Arbeitsplatz der neuen Gerätegeneration wurden diese Routinevorgänge bedeutsam schneller erledigt.

4. ein optimierter Einsatzplan für das Personal ausgearbeitet werden konnte (s. Tabelle 4-1, Seite 57). Die Bedeutung der kritischen Vorgänge sollte vermittelt und die Durchführung anschließend erneut evaluiert werden. Ferner können die erhobenen Daten zur Simulation der Prozesse und somit für einen optimierten Personalschlüssel verwendet werden.

4.1 Analyse und Optimierung von CT-Arbeitsabläufen

Durch Dokumentation und Analyse der Arbeitsvorgänge am Computertomographen konnte unter Verwendung von PERT die statistische Varianz der Vorgangsdauer berechnet werden. Auf Basis dieser Ergebnisse wurde rechnergestützt ein Netzplan entworfen, der den kritischen Pfad von CPM und daraus resultierend die Pufferzeiten aller Vorgänge darstellte. Diese beiden Eckparameter bildeten die Grundlage zur Modellierung der Prozesse, um einen optimierten Netzplan zu entwickeln sowie Ist- und Sollprozesse unter dem Kriterium der Durchlaufzeit mit den Umgebungsvariablen Mensch, Maschine, Material und Methodik (4-M-Methode) einander gegenüber zu stellen.

Die Auswahl der Untersuchungen von Kopf und Thorax erwiesen sich als vorteilhaft, da sie einerseits mit festen Untersuchungsprotokollen erstellt wurden, andererseits hohe klinische Fallzahlen zeigten. 48,7% der Untersuchungen am CT S und 33,2% am CT 4 repräsentierten diese Untersuchungskategorien (s. Tabelle 2-2, Seite 30).

4.1.1 Auswahl der Vorgänge

Die Beobachtung der 48 Vorgänge auf der einen Seite und die anschließende Planung des Netzplans auf der anderen Seite verwiesen auf vorrangige Entscheidungen, welche Arbeitsschritte tatsächlich notwendig für den regulären Ablauf einer Untersuchung waren und welche ausgeklammert werden konnten. Anhand der einzelnen Vorgänge, die als Standard angeboten wurden, ließen sich im Verlauf der Messungen 34 unumgängliche Kernvorgänge und 14 Zusatzvorgänge, die fallweise auftraten, registrieren.

Die Präsenz des Arztes war während der Vorbereitung und Untersuchung von großer Bedeutung. Um den Beginn der Untersuchung nicht zu verzögern, sollte der Arzt rechtzeitig vor dem Eintreffen des Patienten informiert werden. In der Nachbereitungszeit war das Verfassen eines Kurzbefundes wichtig. Obwohl sich in der untersuchten CT-Abteilung die meisten Ärzte in Weiterbildung befanden, wurde nur selten, in 18,8% der Fälle bei mobilen Patienten und Untersuchungen des Thorax, der Oberarzt zu Rate gezogen. Dagegen wurde der Oberarzt bei Intensivpatienten mit 37,5% bei Kopfuntersuchungen und 75% bei Thoraxuntersuchungen weitaus häufiger zur Befundung hinzugezogen. Im Rahmen einer qualitativen Versorgung durch die diagnostische Radiologie wird die schnelle Befundverfügbarkeit vom Zuweiser als wichtigstes Produkt einer Untersuchung angesehen (Gocke, Debatin, et al., 2002).

Somit deutet sich auch die Dringlichkeit und Wichtigkeit einzelner Arbeitsschritte an, die zwischen Untersuchungs- und Patientenkategorien unterschiedlich sind. Dies wurde bei der Erstellung der Netzpläne berücksichtigt.

Die Vorgänge der MTRA 1 und der MTRA 2 wurden mit wenigen Ausnahmen in die weitere Planung aufgenommen.

4.1.2 Analyse nach Varianzen

Beim Arzt zeigte sich eine erhöhte Varianz während der Vorbereitungsphase mit der Aufklärung des Patienten (1b), welche optimistisch 0:30 Minuten und pessimistisch 7:00 Minuten dauerte, sowie dem Legen des Zugangs (1e) mit einer Zeitdauer zwischen 1:10 und 8:15 Minuten. Auch das zusätzliche Gespräch mit dem Patienten im Untersuchungsraum (1j) in einer Zeitspanne von 0:10 Minuten optimistisch bis 5:00 Minuten pessimistisch gehört bei sachgemäßer Aufklärung zur Vorbereitung.

Um diese Varianz zu reduzieren sollten diese Arbeitsschritte mit einem zeitlichen Vorlauf zur unmittelbaren Untersuchung außerhalb des Untersuchungsraumes stattfinden. Vorstellbar wäre z.B. ein Zeitraum von 30 Minuten. Wie bereits erwähnt sind diese darüber hinaus Vorgänge, die auch von einem Assistenten oder einer Assistentin nach entsprechender Zusatzausbildung durchführbar sind.

Zur schnelleren und qualitativ besseren Befundung der Bilder (1k, 1p) sollte ein PACS-gestütztes System installiert werden, um die räumliche Unabhängigkeit und schnellere Bearbeitung zu fördern. Der Befund kann somit zeitlich flexibler von der Untersuchung durchgeführt werden. Bei vitalen Indikationsstellungen – wie bei Intensivpatienten – muss der Oberarzt rechtzeitig informiert werden und zur Stelle sein.

Die Varianz kann bei der ersten Assistentin reduziert werden, wenn eine gezielte Vorbereitung des Untersuchungsraumes (2f) und Platzierung des Patienten auf dem Untersuchungstisch (2g) stattfindet. Zur Beschleunigung des vorhandenen Abrechnungsmodus im RIS (3o) ist zu untersuchen, ob sich dieser Schritt durch Systemverbund mit den Daten des Computertomographen koppeln lässt.

Ein weiterer kritischer Vorgang ist das Drucken, Abholen und Sortieren der Filme (3l). Wurden einerseits optimistisch Zeiten von nur 0:30 Minuten gemessen, so konnte sich dies andererseits pessimistisch auf 19:00 Minuten verlängern. Ursächlich dafür zeigten sich Filmwechsel und die langen Unterbrechungen wegen der Nachverarbeitung und des verspäteten Sendeauftrags der Bilder an den Drucker. Dieser für die Varianz sehr anfällige Arbeitsschritt wird mit der zunehmenden Verbreitung der digitalen Radiologie wegfallen (Imhof, Dirisamer, et al., 2002).

Am problematischsten in Bezug auf die Varianz ist der Untersuchungsvorgang (3g) selbst. Auch wenn gewisse Definitionen dieses Vorganges von den Zeitnehmern unterschiedlich bewertet wurden, so stellt dieser Arbeitsschritt mit einer optimistischen Dauer von 1:00 Minute bis zu einer pessimistischen Dauer von 32:19 Minuten die zeitlich variabelste Komponente des ganzen Prozesses dar (s. Abbildung 3-2, Seite 39).

Diese Zahlen belegen die dringende Notwendigkeit, potentiell schwierige Untersuchungen vor dem Betreten des Untersuchungsraums zu beurteilen und gezielte Durchführungsprotokolle zu entwerfen, um etwaige pessimistische Zeiten zu minimieren.

Erwähnenswert sind die teilweise sehr großen Varianzen einzelner Vorgänge. So kamen teilweise sehr pessimistische Werte durch unterschiedliche Messmethoden bzw. Unterbrechungen innerhalb eines Vorganges zustande. Insbesondere die Unterbrechungen aufgrund von fehlenden Informationen wie ungenaue Fragestellungen und individuell erwünschte Untersuchungsprotokolle sind eine bedeutende Ursache für pessimistische Zeiten und sollten daher im Regelfall vermieden werden.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass eine bewusste und präzise Vorbereitung die Varianz innerhalb des Untersuchungsraumes in den meisten Fällen senken und glätten wird.

4.1.3 Analyse der Pufferzeiten

Bei der Betrachtung der einzelnen Vorgänge fallen teilweise sehr lange Pufferzeiten von bis zu 15 Minuten auf. Diese werden in der Praxis für weiter anfallende Aufgaben genutzt. Während die Untersuchung durchgeführt wird, dienen sie der Vorbereitung von nachfolgenden Patienten. Der Arzt nutzt die Zeit zum Nacharbeiten alter Befunde (1d) oder für andere Aufgaben.

Zur Reduzierung der Zeit auf dem kritischen Pfad sollten alle anfallenden Pufferzeiten zur Unterstützung des kritischen Vorgangs eingesetzt werden, um negative Pufferzeiten zu vermeiden. Die Fokussierung auf die wesentlichen Arbeitsschritte hat besonders während der Untersuchung absoluten Vorrang.

Förderlich ist weiterhin das Wissen um die eigenen Aufgaben und Rolle sowie ihre Bedeutung für den gesamten Arbeitsablauf. Jede Arbeitskraft sollte die Arbeit der anderen abnehmen bzw. übernehmen können.

4.1.4 Die kritischen Vorgänge im Netzplan

Die für ein Projekt durchgeführte Zeitplanung wird nicht immer den Vorstellungen der Projektleitung gerecht. Die errechnete Projektdauer kann über dem gewünschten oder geplanten Wert liegen. Es wird dann eine Verkürzung der Projektdauer angestrebt. In dieser Situation zeigt sich einer der wesentlichen Vorteile der Netzplantechnik. Der kritische Pfad weist genau aus, an welchen Stellen Maßnahmen zur Reduzierung der Projektdauer oder der Dauer von Projektteilen ergriffen werden müssen.

Die Anpassung eines aufgestellten Zeitplans an Terminvorgaben wird immer am kritischen Pfad ansetzen und versuchen, die Dauer der auf dem kritischen Pfad liegenden Vorgänge zu verkürzen oder die Länge des kritischen Pfades durch andere Maßnahmen zu reduzieren. Dennoch wird eine Verkürzung des ursprünglich kritischen Pfades immer nur so lange zu einer Verkürzung der Projektdauer führen, wie dadurch nicht andere Pfade kritisch werden. Die optimierten kritischen Vorgänge sind in Tabelle 4-1, Seite 57, aufgelistet.

Tabelle 4-1: Kritische Vorgänge am Computertomographen.

Chronologische Reihenfolge. Quelle: CT S, Thoraxuntersuchungen, mobile Patienten.

I	▪ Vorbereitung
2a	▪ Anforderung und Akten des Patienten entgegennehmen / Begrüßung
2e	▪ Patienten den Aufklärungsbogen geben
1b	▪ Gespräch mit Patienten und Aufklärung
1e	▪ Zugang legen, evtl. Prämedikation
II	▪ Untersuchung
1c	▪ Festlegen der Untersuchungsstrategie
3d	▪ Patientendaten eingeben und CT-Topogramm laden
1f	▪ Überprüfung der Einstellung
3f	▪ Kontrastmittelplanung
3e	▪ Topogramm durchführen, Untersuchung planen
3g	▪ Untersuchung durchführen
2m	▪ Kontrastmittel-Schlauch abklemmen, Patienten vom Tisch nehmen
3m	▪ Tisch und Gantry säubern
3o	▪ Untersuchung im RIS abrechnen
III	▪ Nachbereitung
3l	▪ Filme aus dem Drucker nehmen, sortieren
2o	▪ Dem Patienten die Bilder aushändigen, Verabschiedung

4.1.5 Der optimierte Arbeitsplan

Die Reduzierung der Dauer eines Projektes oder eines Teilprojektes kann auf unterschiedliche Art erreicht werden.

Die erste Möglichkeit der Projektdauerreduzierung besteht in der Verringerung der Ausführungsdauer von kritischen Vorgängen.

Die durchgeführten Netzplanberechnungen zur zeitlichen Verringerung des kritischen Pfades lassen sich in folgender Aussage zusammenfassen: um auf dem kritischen Pfad zeitsparend zu sein, sollten sich die beteiligten Arbeitskräfte immer auf die aktuelle Untersuchung und damit auf den Patienten selbst konzentrieren. Wie in Abbildung 4-1, Seite 58, dargestellt, sollten kritische Vorgänge während der Durchführungszeit aus dem Untersuchungsraum herausgehalten werden. So kann mit dem Arbeitsschritt 1e – Zugang legen – an kritischer Zeit innerhalb des Untersuchungsraumes eingespart werden, wenn dieser Arbeitsschritt vor dem Betreten des Patienten in den Untersuchungsraum durchgeführt wird.

Insgesamt könnten mit diesen Maßnahmen eine Reduktion um 24,7% von 36:01 Minuten (gemessene Dauer) auf 27:07 Minuten (optimierte Dauer) in der realistischen Durchführung am Computertomographen der CT S-Generation erreicht werden.

Optimistisch ist die Reduktion mit 80,5% von 15:40 Minuten (gemessene Dauer) auf 3:03 Minuten (optimierte Dauer) noch eindrucksvoller.

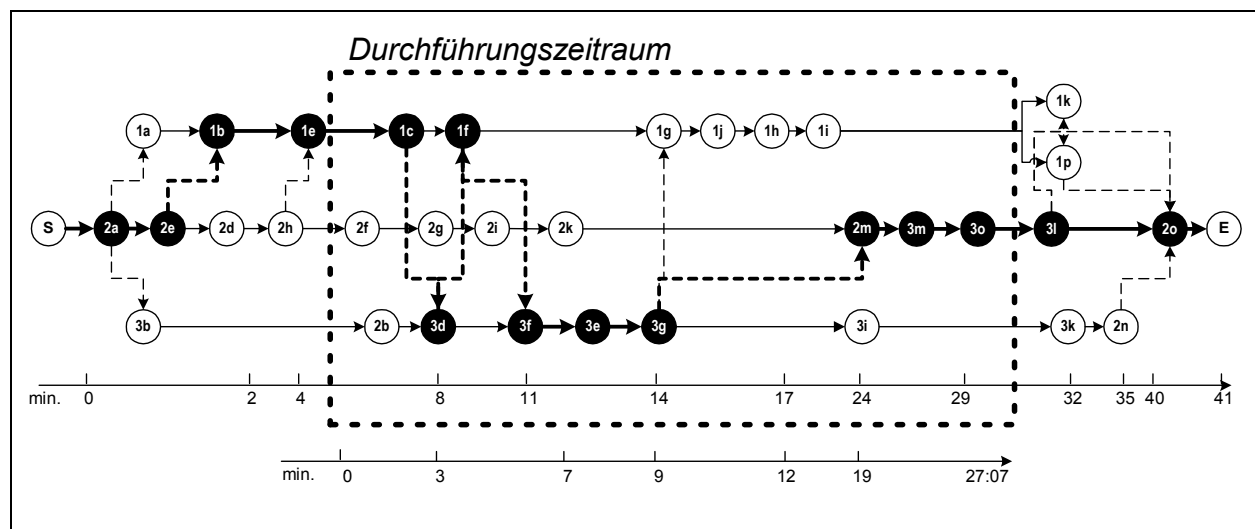


Abbildung 4-1: Optimierter Vorgangsknotenplan.

CT S, Thoraxuntersuchungen, mobile Patienten. Kritischer Pfad in schwarz markiert. Beschreibung der Vorgänge siehe Tabelle 3-1 bis 3-3, Seite 34f. S: Startknoten, E: Endknoten, min.: Minuten. Durchführungszeitraum: Arbeitszeitraum, während der sich der Patient im Untersuchungsraum befindet.

Damit werden auch weitere Überlegungen relevant. Röntgenassistenten sollten z.B. ausgebildet werden, den Zugang selbstständig legen zu können. Mit dem Einzug von PACS in die radiologische Diagnostik entfallen zudem die kritischen Schritte 3l – Filme aus dem Drucker nehmen und sortieren – und 2o – Aushändigen der Bilder an den Patienten – während der Nachbereitung.

Der Arzt sollte in abgetrennten Räumlichkeiten arbeiten, um schon während der Untersuchung Befundungen durchführen zu können.

4.1.5.1 Prozessgestaltung

Eine wichtige Gestaltungsmöglichkeit, die Gesamtdauer eines Projektes oder eines Teilprojektes zu verkürzen, ist die Überlappung von Vorgängen, d.h. die teilweise zeitlich parallele Durchführung der Vorgänge. Diese in der Theorie angeordnete Verschmelzung einzelner vordefinierter Vorgänge sollte durch die sinnvolle Verflechtung der Tätigkeiten, die aufeinander Bezug nehmen, vollzogen werden. So könnte durch Verwendung von Befundungsschemata ein schnelleres und sorgfältigeres Verfassen des Befundes beim Arzt von Vorteil sein.

Eine weitere Möglichkeit zur Verkürzung der Projektdauer besteht in einer Änderung der Ablaufstruktur. Die Reihenfolge von Vorgängen ist nicht immer zwingend

vorgeschrieben. Dadurch gibt es viele Möglichkeiten, die Ablaufstruktur eines Projektes zu planen und in einem Netzplan wiederzugeben. Durch Änderung der Reihenfolge von Vorgängen und eventuell Parallelschalten von Vorgängen kann fast immer eine Herabsetzung der ursprünglich geplanten Projektdauer erreicht werden.

4.1.5.2 Durchführungszeiten in unterschiedlichen Patientenkategorien

Bei dem Vergleich der Patientenkategorien fallen die wenig unterschiedlichen Durchführungszeiten zwischen mobilen Patienten und bettlägerigen Patienten auf. Dies betrifft sowohl die realistische wie optimistische Berechnung. Wider Erwarten sind die Zeiten für bettlägerige Patienten bis zu 0:49 Minuten kürzer. Gründe für die vergleichbaren Ergebnisse in diesen beiden Patientenkategorien liegen zum einen in den zeitlich kaum zu unterscheidenden Vorgängen 2g – Betten des Patienten auf dem Untersuchungstisch – und 2m – Patienten vom Untersuchungstisch bitten, bzw. umlagern. Zum anderen ist der restliche Untersuchungsablauf in beiden Kategorien vergleichbar. Die Kategorie der Intensivpatienten ist mit der Lagerung und Überwachung des Patienten während der Untersuchung mit größerer Varianz behaftet. Dies ist für die Terminplanung eines Computertomographen von entscheidender Bedeutung und legt die Empfehlung nahe, den Bereich – soweit die Möglichkeiten vorhanden sind – räumlich und maschinell, und daher organisatorisch von den beiden anderen Kategorien zu trennen.

Empfehlenswert ist in diesem Zusammenhang die kurzzeitige Mobilisierung mehrerer Mitarbeiter, damit die Untersuchungszeit nicht nur der Dringlichkeit der Situation entsprechend, sondern auch im Sinne einer optimierten Auslastung kurz gehalten wird. In der untersuchten Klinik sind zwei Arbeitskräfte allein für die Patientenumlagerung beauftragt, die alle Funktionsbereiche bedienen.

Im Bereich von mobilen und bettlägerigen Patienten, die auch als ambulante und stationäre Patienten definiert werden können, ist die Verfügbarkeit der Patienten für eine reibungslose Terminierung von entscheidender Bedeutung. Da dies im Falle von stationären Patienten mit gewissen Verzögerung einhergehen kann, wie zum Beispiel durch den Abruf von Station, durch andere mögliche Untersuchungen oder durch einen langsamen Bettentransport innerhalb des Krankenhauses, ist auch hier eine Trennung der Kategorien und eine eindeutige Zuordnung zu einzelnen Computertomographen als sinnvoll zu erachten.

4.1.5.3 Auslastung der CT-Arbeitsplätze

Im Bereich der neuen Generation des Spiral-Computertomographen (CT 4) wurden in jeder Kategorie kürzere Durchführungszeiten gemessen. Diese sind jedoch nicht allein auf die schnellere Gewinnung und Verarbeitung des CT-Bildmaterials zurückzuführen. So wurden durchweg kürzere Arbeitszeiten in fast allen Vorgängen bei allen beteiligten Arbeitskräften festgestellt. Sie waren ebenfalls besser aufeinander abgestimmt.

Damit treten in diesem Zusammenhang Fragen nach den Ursachen für diese Ergebnisse auf. Nach dem 4-M-Konzept sind Maschine, Material, Mensch und Methode für verbesserte Arbeitsabläufe verantwortlich (Müller-Haslach K, 1997).

Die kürzere Durchführungszeit liegt zum einen an dem schnelleren Gerät. Andererseits ist es möglich, dass komplikationslosere Patienten gezielt an das bessere CT geschickt wurden.

Ebenso kann das eingesetzte Personal einen Einfluss auf die erhobenen Werte haben. So könnten CT-Geräte der neuesten Generation Mitarbeiter stärker motivieren an den moderneren Geräten eingesetzt zu werden. Zudem werden erfahrenere Arbeitskräfte eher an den neueren Geräten eingesetzt.

Im Bereich der Methode konnte durch Verwendung der Netzplantechnik eine höhere Auslastung von 39,9% auf 67,6% für alle Arbeitskräfte unter Verkürzung des Gesamtprozesses errechnet werden.

4.2 Grenzen der Netzplantechnik

Bei der Gewinnung und der Analyse der erhobenen Daten zeigten sich die strukturellen Vorteile dieser Methode. Die Grundlagen und die Verfahren der Struktur- und Zeitplanung der Netzplantechnik sind einfach, leicht verständlich und können schnell erlernt werden.

Die Zeichnung des Netzplans zwingt zu konzentriertem und detailliertem Durchdenken des Prozesses und zeigt übersichtlich und aussagefähig die genaue Struktur des geplanten Prozessablaufs mit allen Abhängigkeiten.

Durch die Errechnung des kritischen Pfades werden schlüssige Hinweise gewonnen, wo im zeitlichen Ablauf des Prozesses die Engpässe sind und welchen Vorgängen bei der Durchführung besondere Aufmerksamkeit zu widmen ist. Wird eine Verkürzung der Prozessdauer verlangt, zeigt der kritische Pfad, wo entsprechende Maßnahmen

ergriffen werden müssen. Weiterhin decken die für nichtkritische Vorgänge berechneten Pufferzeiten die Zeitreserven auf, wodurch die Flexibilität der Planung erhöht wird.

Bei realem Einsatz der Netzplantechnik bestehen zudem Möglichkeiten zur erweiterten Einbeziehung von zusätzlichen Kosten- und Kapazitätsaspekten.

Ein Nachteil der Netzplantechnik besteht darin, dass die graphische Umsetzung des Projektablaufs mehr Aufwand erfordert als die Darstellung in Tabellenform. Dieser Mehraufwand wird jedoch durch die höhere Aussagekraft bei weitem ausgeglichen (Corsten, 2000).

Nachteilig kann sich weiterhin erweisen, dass der Netzplan und die Klarheit seiner Darstellung des Projektablaufs beim Benutzer oder Betrachter des Netzplans falsche Assoziationen erwecken können. Im Netzplan ist üblicherweise ein bestimmter eindeutiger Projektablauf dargestellt. Tatsächlich sind aber im Regelfall auch andere Projektabläufe (Reihenfolge der Vorgänge) möglich. Das liegt insbesondere daran, dass nur ein Teil der Anordnungsbeziehungen logisch bzw. technologisch zwingend ist, während ein großer Teil der Reihenfolgebedingungen durch Kapazitätsbeschränkungen oder Terminrestriktionen vorgegeben wird.

Einen weiteren Hauptkritikpunkt an der Netzplantechnik beschreibt Madauss (Madauss, 2000). Der Autor weist auf die Gefahr eines zu detaillierten Netzplanes hin. Der Aufwand steht dabei nicht mehr im Verhältnis zum möglichen Nutzen der Organisationsveränderung. Um solche Komplexität zu vermeiden wurden in dieser Arbeit Sammelvorgänge verwendet, die in die drei Abschnitte „Vorbereitung“, „Untersuchung“ und „Nachbereitung“ eingeteilt wurden.

4.2.1 Anforderung von PERT

Zu den Ergebnissen einer Zeitplanung mit Hilfe der Netzplantechnik ist grundsätzlich zu sagen, dass sie immer unter den Vorbehalten zu sehen sind, die jede zukunftsorientierte Zeitplanung enthalten. Die als Ausgangsgrößen verwendeten Zeitschätzungen für die Ausführungszeiten der Vorgänge sind nur Schätzwerte. In vielen Fällen kann eine genaue Einhaltung der Planwerte nicht garantiert werden. Die Ergebnisse einer Rechnung können aber immer nur höchstens so genau sein wie die Größen, auf denen die Rechnung aufbaut. Die detaillierten und aussagefähigen Resultate der Zeitplanung mit Hilfe der Netzplantechnik dürfen also nicht darüber hinwegtäuschen, dass sie mit Hilfe von Ausgangswerten berechnet wurden, deren Eindeutigkeit und Zuverlässigkeit nicht immer gewährleistet ist (Goldstein, 1994).

Bei PERT wird der einer Zeitschätzung im Allgemeinen innewohnenden Unsicherheit dadurch Rechnung getragen, dass von Wahrscheinlichkeitsvorstellungen über die zeitliche Ausdehnung der Vorgänge ausgegangen wird. Doch wird das Unsicherheitsproblem dadurch nur zu einem Teil gelöst. Die Wahrscheinlichkeitsverteilung der zeitlichen Ausdehnung der Vorgänge wird mit Hilfe der drei Zeitwerte OD, HD und PD nur durch einige Messungen ermittelt. Damit ist eine Beta-Verteilung der Werte nicht zutreffend. Grundsätzlich liegt dann das gleiche Problem wie bei einer einwertigen Schätzung vor. Fehler bei den Ermittlungen der optimistischen, pessimistischen und realistischen Vorgangsdauer durch zu große Ausschläge der Vorgangsdauer nach oben oder unten sind so nicht auszuschließen.

Diese Kritikpunkte wurden in der vorliegenden Arbeit durch eine breite Messdatenerfassung unter verschiedenen Bedingungen entgegengetreten. Somit ist es möglich, die Vorgangsdauer als festen Wert vorzugeben. Die Einhaltung dieser vorgegebenen Werte kann dann durch Einsatz zusätzlicher Kapazitäten, Überstunden oder entsprechender Maßnahmen sichergestellt werden. Der Zeitplan erhält dann einen – bis auf unvorsehbare und nicht eliminierbare Risiken – verbindlichen Charakter.

4.2.2 Anforderung des kritischen Pfades

Die Ergebnisse der Zeitplanung sind Erwartungswerte. Der kritische Pfad ist lediglich ein erwarteter kritischer Pfad, und die durch ihn bestimmte Projektdauer ist die erwartete Projektdauer. Somit ist eine stochastische Unabhängigkeit der Vorgänge nicht gegeben. Es können, bestimmt durch die zugehörige Wahrscheinlichkeitsverteilung, Abweichungen davon auftreten.

Für den kritischen Pfad gilt insbesondere, dass er nicht nur hinsichtlich seiner Länge, sondern auch hinsichtlich der Vorgänge, über die er führt, unbestimmt ist. Die für die Einhaltung des Fertigstellungstermins im Auge zu behaltenden kritischen Vorgänge lassen sich also nicht eindeutig von vornherein bestimmen. Eine Unterschätzung der erwarteten kürzesten Projektdauer liegt nahe.

Ist die Verteilung der Pufferzeiten für die einzelnen Vorgänge bekannt, so kann die Wahrscheinlichkeit dafür bestimmt werden, dass die Pufferzeit negativ wird. Das ist dann gerade die Wahrscheinlichkeit dafür, dass der betreffende Vorgang kritisch wird.

Da es bislang keine exakten Verfahren gibt, die erwähnten Probleme bei größeren Netzplänen in den Griff zu bekommen, kann bei zufällig schwankender Vorgangsdauer

eine genauere und die erwähnten Bedingungen berücksichtigende Zeitplanung nur mittels Simulation durchgeführt werden.

Unter diesen Vorbehalten erweist sich die zeitliche Planung des Projektablaufs mit Hilfe der Netzplantechnik jedoch als vorteilhaft. Daher wird sie als Datenerfassung und Vorbereitungsstufe für das „Workflow-Management“ eingesetzt (Reichert, 2002).

4.3 Ausblick – Realisierungsmaßnahmen

Das in dieser Arbeit vorgestellte Modell der Netzplantechnik ist ein Lösungsvorschlag zur Verbesserung der Arbeitsabläufe in der Computertomographie. Es konnte gezeigt werden, dass eine Straffung der Arbeitsabläufe erreicht werden kann. Bei standardisierten Untersuchungen in der Computertomographie erscheint eine Reduktion der Durchlaufzeit von 24,7% möglich. Dazu wurden Vorschläge für die Mitarbeiter erarbeitet, die als nächste Schritte konsequent in die Tat umgesetzt werden sollen. Somit steht eine Validierung der Ergebnisse noch bevor und ist als Gegenstand weiterer Untersuchungen vorgesehen. Rhea hat 1994 am Massachusetts General Hospital in Boston gezeigt, dass eine vergleichbare Reduktion der Durchführungsdauer von CT-Untersuchungen von 25,8% nach Optimierung der Arbeitsvorgänge umgesetzt werden konnte (Rhea, Thrall, et al., 1994).

4.3.1 Stand der allgemeinen Diskussion

Die vorliegenden Ergebnisse sollten Ansporn für weitere systematische Messungen in anderen Arbeitsfeldern in der radiologischen Klinik und im gesamten Krankenhaus sein. Somit könnten weitere verlässliche Daten zur Analyse gewonnen werden (Pearson et al. 1995). Um die Zeitnahme der Einzelmessungen zu beschleunigen, wurde ein Computerprogramm zur zügigen und zuverlässigen Erfassung von Vorgangszeiten am Ultraschallarbeitsplatz entwickelt und erfolgreich eingesetzt (Gillesen, Lehmkuhl, et al., 2003). Dies fördert die Auseinandersetzung mit den Chancen und Risiken der Netzplantechnik, mit der die Entscheidungsträger im ambulanten und stationären Bereich in verstärktem Masse konfrontiert sein werden (Perce, 1998; Teichgräber, Gillesen, et al., 2002, 2003). Dass ein konsequenter Einsatz von Netzplantechnik mit Optimierung der Zeitpläne sich lohnt, zeigt die Abbildung 4-2, Seite 64. Sämtliche Arbeitsprozesse konnten unter Verwendung von Workflow-Management und Reorganisationsmaßnahmen verkürzt werden. Dies verdeutlicht, dass die Nutzeffekte, die aus dem Einsatz von Netzplantechnik im Rahmen der Workflow-Technologie resultieren, sehr

viel nachhaltiger sein können, wenn die Prozesse zuvor einer gründlichen Analyse und Optimierung unterzogen werden. Venable et al. verweisen in ihrem Artikel über die Anwendung der Netzplantechnik „Six Sigma“ von GE (Madison, USA), dass für jeden Dollar, der für die Projektarbeit ausgegeben werden musste, bisher 16 Dollar an Einsparungen erzielt wurden (Venable & Silverman, 2001).

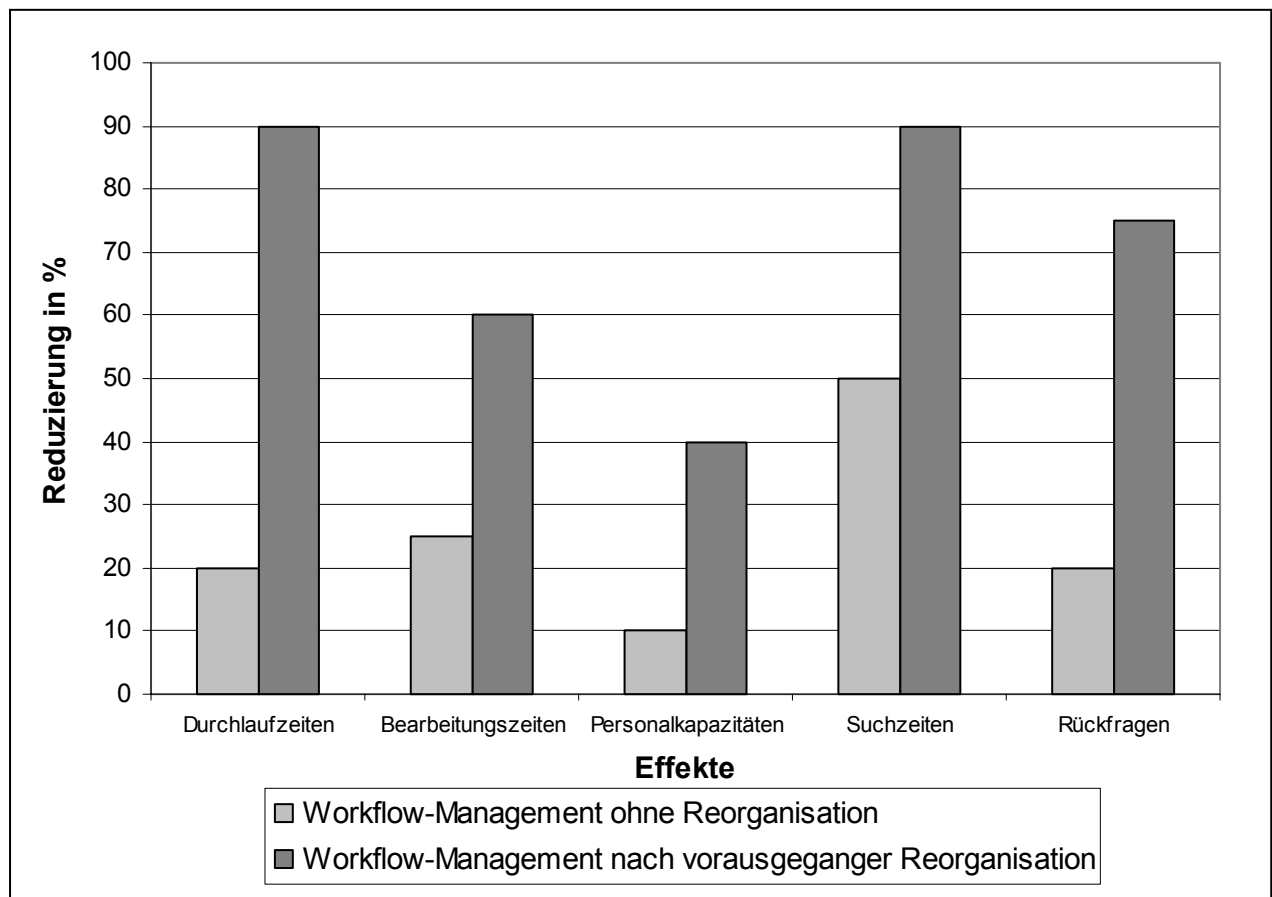


Abbildung 4-2: Nutzeffekte von Workflow-Management (nach: Masson, 2000).

4.3.2 Besondere Umsetzungsanforderungen in der Klinik

Für einen wirkungsvollen und wirtschaftlichen Einsatz der Netzplantechnik, für die Projektplanung, -steuerung und -kontrolle spielt eine ausreichende Ausbildung, Motivation und Führung der Mitarbeiter eine wichtige Rolle. Zudem sollten kompetente Ansprechpartner für Ärzte und Assistenten in der Weiterbildung jederzeit und schnell zur Verfügung stehen. Begleitend sollten daher Schulungen im medizinischen Arbeitsbereich durchgeführt werden, wie sie bereits in Großbritannien (O'Kelly & Maxwell, 2001) und den Vereinigten Staaten (O'Neill, 2001) vorgeschlagen wurden.

Sämtliche mit der Netzplantechnik in Berührung kommende Mitarbeiter müssen mit den Grundprinzipien der Netzplantechnik vertraut gemacht werden, um die Zusammenarbeit zu erleichtern und psychologische Widerstände abzubauen. Eine allgemeine Studie von Kraus verweist auf die gesteigerte Arbeitszufriedenheit bei in einer Projektorganisation integrierten Personen (Kraus, 1995). Die eigentliche Planung und Überwachung sollte nur von qualifizierten Planungsfachleuten vorgenommen werden, die außer fundierten Kenntnissen der Netzplantechnik möglichst breite, praxiserprobte Planungserfahrungen besitzen, um auch die nicht in unmittelbarem Zusammenhang mit den Verfahren der Netzplantechnik stehenden Organisationsprobleme lösen können.

Unter Berücksichtigung der Kosten- und Kapazitätsplanung können die erhobenen Daten als Grundlage für die Simulation der Prozesse verwendet werden, wie dies bereits an einem Ultraschall-Arbeitsplatz exemplarisch durchgeführt wurde (Gillesen, Teichgräber, et. al., 2003). Doch erst die Evaluierung in der Praxis bietet die sichere Erkenntnis einer gelungenen Neugestaltung eines Arbeitsprozesses unter Verwendung der Netzplantechnik.

4.3.3 Technische Entwicklung

Die anhaltende technische Entwicklung im Gebiet der Schichtbildverfahren wie der CT sowie die zunehmende Notwendigkeit der Kostenreduktion fordern von radiologischen Kliniken ein effizientes Management der organisatorischen Abläufe (Fischer, Vossheirich, et al., 2002). Mit der Entwicklung von Multi-Detektor-Systemen und immer schnelleren Bilddatenverarbeitung im Bereich der Computertomographie sowie der digitalen Bildverarbeitung und -archivierung verringert sich der Einfluss des geschwindigkeitsbegrenzenden Faktors „Maschine“ immer mehr. Kurze Untersuchungszeiten von wenigen Minuten sind schon heute die Regel. In naher Zukunft werden Sekunden das Taktmaß für das Erwerben von kompletten Bilddatensätzen sein. Dies veranschaulicht umso stärker den dringenden Bedarf, die Faktoren Mensch und Material unter Verwendung von zuverlässigen Methoden planvoll zu steuern. Hier sind die Kapazitätsgrenzen zu beseitigen (Roos JE, Desbiolles LM, et al., 2002).

Langfristiges Ziel ist somit die Einbettung des Prozessmanagements des CT-Arbeitsplatzes in den effizienten Betrieb einer radiologischen Klinik oder Praxis. Die Zufriedenheit der Zuweiser und der Patienten würde als wichtiges Merkmal von Qualitätsmanagement dauerhaft gefördert werden (Gocke, Debatin, et al., 2002).

5 Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit war es, unter Verwendung der Netzplantechnik mit der Methode zur Ermittlung der zeitkritischen Vorgänge (CPM) und zur realitätsnahen Berechnung von Vorgangszeiten (PERT) Arbeitsabläufe zur Durchführung einer Untersuchung am Computertomographen zu analysieren und zu optimieren.

Zur Entwicklung der Netzpläne wurden 158 CT-Untersuchungen (Kopf und Thorax) beobachtet und die einzelnen Arbeitsschritte der beteiligten Personen zeitlich festgehalten. Zur weiteren Differenzierung wurde das Patientengut in drei Kategorien (Mobil, Bettlägerig und Intensiv) aufgeteilt. Die Dauer für jeden einzelnen Arbeitsschritt zur Durchführung einer Untersuchung wurde bei 103 Patienten mit 2.802 Einzelmessungen an einem Einzeilen-CT älterer Generation und bei 55 Patienten mit 1.789 Einzelmessungen an einem Einzeilen-CT jüngerer Generation festgehalten und ausgewertet. Die Berechnung der optimistischen, realistischen und pessimistischen Zeiten erfolgte für jeden einzelnen Arbeitsschritt. Ein kritischer Pfad konnte definiert und in den Netzplan integriert werden.

Bei den klinischen CT-Untersuchungen kamen ein Arzt und zwei medizinisch-technische Röntgen-Assistenten (MTRA) zum Einsatz. Der Untersuchungsbeginn wurde mit dem Entgegennehmen der Akten des Patienten gesetzt. Die Vorbereitung und die Rüstzeit des Patienten gingen dem Untersuchungsabschnitt voran. Abschließend folgte die Bilderstellung und Befundung, während der Untersuchungsraum für den nächsten Patienten vorbereitet wurde. Das Untersuchungsende erfolgte mit der Aushändigung der Bilder mit einem Kurzbefund des Arztes an den Patienten. Gemessen wurde beispielsweise für Thoraxuntersuchungen von mobilen Patienten eine Zeitdauer von 54:48 Minuten. Nach Zeitoptimierung und Reorganisation der Arbeitsabläufe wurde eine realistische Gesamtdauer von 40:26 Minuten und somit eine bedeutsame Zeitersparnis von 26,2% errechnet.

Während der Vorbereitung liegen die Tätigkeiten des Arztes unabdingbar auf dem kritischen Pfad. Der Assistent, der vorwiegend den Computertomographen bedient,

arbeitet bei der Durchführung der Untersuchung auf dem kritischen Pfad. Abschließend zur Nachbereitung sind die Vorgänge des Assistenten, der den Patienten und den Untersuchungsraum betreut, als kritisch errechnet worden.

Zur verlässlichen Planung von Arbeitsabschnitten ist die Reduktion von Varianzen wichtig. Dabei fielen beispielsweise sehr unterschiedlich lange Vorgangszeiten beim Befunden der Bilder (2:00 bis 14:00 Min.), beim Entnehmen der Bilder aus dem Film-drucker und anschließendem Sortieren (0:30 bis 19:00 Min.) sowie bei der Durch-führung der Untersuchung (1:00 bis 32:19 Min.) auf. Patientenmanagement, Bild-bearbeitung und -speicherung auf Film wurden als zeitintensive Aktivitäten erkannt. Daher sollten Rechner- und digitale Netzwerkstrukturen auf dem aktuellen Stand zur Verfügung gestellt werden.

Die Mobilität des Patienten spielt im Hinblick auf die Untersuchungsdauer keine ent-scheidende Rolle. Erst bei Intensivpatienten sind realistisch bis zu 30% längere Unter-suchungszeiten zu erwarten.

Bei Vergleich der CT-Generationen zeigte sich bereits bei den Messungen eine deutlich schnellere Durchführungszeit bei der neueren Generation von bis zu 30%. Ergänzend konnte durch Einsatz der Netzplantechnik eine weitergehende Zeitreduktion von 15 bis 20% errechnet werden.

Die aufgezeigten Möglichkeiten zur Effizienzsteigerung am CT-Arbeitsplatz können zur Umsetzung und weiteren Optimierung durch Simulation und Evaluierung der Prozesse herangezogen werden. Begleitend sollten Maßnahmen zur Mitarbeitermotivation und kontinuierlicher Weiterbildung durchgeführt werden.

Diese Arbeit untermauert die Wichtigkeit, auch für weitere Arbeitsplätze in der Klinik und Praxis, die eine hohe Auslastung und Rentabilität erbringen müssen, effiziente Planungsinstrumente wie die Netzplantechnik einzusetzen.

6 Literatur

- [1] (1920): Method of Survey, Cleveland Hospital and Health Survey , Seite 1003-1017, Cleveland Hospital Council, Cleveland.
- [2] (1987): DIN 69900 Teil 1: Projektwirtschaft; Netzplantechnik; Begriffe., Beuth Verlag, Berlin.
- [3] Berg, R.; Meyer, A.; Müller, M. und Zogg, A. (1973): Netzplantechnik, Verlag Industrielle Organisation., Zürich.
- [4] Block, L. (1973): Project management--new characters, new results, Hosp.Prog. 54 [5], Seite 68-71. URL: PM:4701769
- [5] Brye, P. E.; Loharikar, R. und Duda, E. (1999): New picture archiving and communications system plus new facility equals critical path planning challenge, J.Digit.Imaging 12 [2 Suppl 1], Seite 130-133. URL: PM:10342190
- [6] Buffa ES (1969): Modern Production Management, 3rd ed. Auflage , Wiley, New York.
- [7] Bundesministerium für Gesundheit (1999):
- [8] Burghardt, M. (1999): Einführung in Projektmanagement, 2. Auflage. Auflage , Publicis MCD Verlag, Erlangen, ISBN: 3-89578-121-5.
- [9] Campion, F. X. und Rosenblatt, M. S. (1996): Quality assurance and medical outcomes in the era of cost containment, Surg Clin North Am 76 [1], Seite 139-59.
- [10] Caplan, A. L. (1994): Can money and morality mix in medicine? [see comments], Acad Emerg Med 1 [1], Seite 73-81.
- [11] Coffey, R. J.; Othman, J. E. und Walters, J. I. (1995): Extending the application of critical path methods, Qual.Manag.Health Care 3 [2], Seite 14-29. URL: PM:10141770

- [12] Coffey, R. J.; Richards, J. S.; Remmert, C. S.; LeRoy, S. S.; Schoville, R. R. und Baldwin, P. J. (1992): An introduction to critical paths, Qual Manag Health Care 1 [1], Seite 45-54.
- [13] Corsten, H. (2000): Projektmanagement. Einführung, Oldenbourg, München, ISBN: 3486252526.
- [14] D'Aquila, N. W. (1993): Facilitating inservice programs through PERT/CPM. Project Evaluation and Review Technique/Critical Path Method, Nurs.Manage. 24 [5], Seite 92-4, 96. URL: PM:8265089
- [15] Dale, B. G.; Lascelles, D. M. und Plunkett, J. J. (1990): The Process of Total Quality Management, Plunkett, J. J. und Dales, D. G., Managing Quality , Seite 3-18, Philip Allan, Oxford.
- [16] Diplock, C. und de Vulder, J. (1979): Better project management through network planning, Health Soc.Serv.J. 89 [4647], Seite B47-B51. URL: PM:10242991
- [17] Doncaster, R.; Couris, J.; Marotta, P. und Rhea, J. T. (1999): Employing modern quality improvement principles to enhance performace resulted in a comprehensive service metrics program at Massachusetts General Hospital's Radiology Department, Imaging Economics 11/12, Seite 18-26.
- [18] Eichhorn S (1999): Profitcenter-Organisation und Prozessorientierung, Eichhorn, Schmidt-Rettig, Profitcenter und Prozessorientierung , Kohlhammer, Stuttgart, Berlin, Köln.
- [19] Eisenberg JM (1986):
- [20] Emmrich, M (14-1-2000):Krankenhaus im Wettbewerb, Frankfurter Rundschau 11/2 (2000).
- [21] Ethridge, P. und Lamb, G. S. (1989): Professional nursing case management improves quality, access and costs, Nurs.Manage. 20 [3], Seite 30-35. URL: PM:2927822

- [22] Evens, R. G. und Jost, R. G. (1979): Utilization of body computed tomography units: in installations with greater than one-and-a-half years' experience, Radiology 131 [3], Seite 695-698. URL: PM:108767
- [23] Evens, R. G. und Jost, R. G. (1979): Utilization of head computed tomography units: in installations with greater than two-and-a-half years' experience, Radiology 131 [3], Seite 691-693. URL: PM:108766
- [24] Evens, R. G. und Jost, R. G. (1982): Computed tomography utilization and charges in 1981, Radiology 145 [2], Seite 427-429. URL: PM:7134447
- [25] Feldstein, P. J.; Wickizer, T. M. und Wheeler, J. R. (1988): Private cost containment. The effects of utilization review programs on health care use and expenditures, N.Engl.J.Med. 318 [20], Seite 1310-1314. URL: PM:3129660
- [26] Fischer, U.; Vosschenrich, R.; Baum, F.; Schorn, C.; Funke, M.; Strasser, G.; Staudacher, J. und Grabbe, E. (2002): Qualitätsmanagement in einer radiologischen Abteilung, Radiologe 42 [5], Seite 361-368. URL: PM:12132123
- [27] Franklin, B. (2000): Der Weg zum Reichtum, Oesch Verlag, Zürich, ISBN: 3858335681.
- [28] Gerhardt, P. (1996): Diagnostische Radiologie im Spektrum der Kostenentwicklung in der Medizin, Radiologe 36 [4], Seite 270-8.
- [29] Gil Corrales, M. A. (1971): [The PERT-CPM method in health programming], Salud Publica Mex. 13 [6], Seite 953-966. URL: PM:5164482
- [30] Gillessen, C.; Lehmkuhl, L. H. J. und Teichgräber, U. K. M. (2003): Softwaretool zur zeitlichen Erfassung parallel ablaufender Arbeitsvorgänge für die Prozessanalyse in einer radiologischen Abteilung, Gesundh öko Qual manag 8, Seite 111-114.
- [31] Gillessen, C.; Teichgraber, U. K.; Neumann, F.; Ricke, J. und Felix, R. (2003): Prozesssimulation zur prospektiven Nutzwertanalyse einer voll digitalisierten Arbeitsumgebung am Beispiel eines sonographischen Arbeitsplatzes, Rofo 175 [12], Seite 1697-1705. URL: PM:14661142

- [32] Giuliano, K. K. und Poirier, C. E. (1991): Nursing case management: critical pathways to desirable outcomes, Nurs.Manage. 22 [3], Seite 52-55. URL: PM:1900600
- [33] Gocke, P.; Debatin, J. F. und Durselen, L. F. (2002): Prozessmanagement und Controlling in der Diagnostischen Radiologie im Krankenhaus, Radiologe 42 [5], Seite 332-343. URL: PM:12132120
- [34] Goldstein (1994):
- [35] Greene JH. (1974): Production and Inventory Control: Systems and Decisions., Richard D. Irwin, Homewood, IL.
- [36] Harkleroad, A.; Schirf, D.; Volpe, J. und Holm, M. B. (2000): Critical pathway development: an integrative literature review, Am J Occup Ther 54 [2], Seite 148-54.
- [37] Harms K, Hinz I (1996): Erfolgreiche Reorganisation in der Augenklinik – Abläufe kundenorientiert verändert, Krankenhaus Umschau 10.
- [38] Hofmann, P. A. (1993): Critical path method: an important tool for coordinating clinical care, Jt.Comm J.Qual.Improv. 19 [7], Seite 235-246. URL: PM:8401809
- [39] Imai, M. (1992): Kaizen, 2. Aufl. Auflage , Langen Müller Herbig, München.
- [40] Imhof, H.; Dirisamer, A.; Fischer, H.; Grampp, S.; Heiner, L.; Kaderk, M.; Krestan, C. und Kainberger, F. (2002): Prozessmanagementänderung durch den Einsatz von RIS, PACS und Festkörperdetektoren, Radiologe 42 [5], Seite 344-350. URL: PM:12132121
- [41] Jenny, B. (1997): Projektmanagement in der Wirtschaftsinformatik 3&4., 2. Auflage , vdf Hochschulverlag, Zürich.
- [42] Jones, R. H. (1984): PERT/CPM network analysis: a management tool for hospital pharmacists involved in strategic planning, Hosp.Pharm. 19 [2], Seite 89-7. URL: PM:10299434

- [43] Jost, R. G.; Rodewald, S. S.; Hill, R. L. und Evens, R. G. (1982): A computer system to monitor radiology department activity: a management tool to improve patient care, *Radiology* 145 [2], Seite 347-350. URL: PM:7134433
- [44] Karcz, A. (1995): Critical pathways to utilization review, *Adm Radiol.* 14 [8], Seite 23-25. URL: PM:10151503
- [45] Kost, G. J. (1986): Application of Program Evaluation and Review Technic (PERT) to laboratory research and development planning, *Am.J.Clin.Pathol.* 86 [2], Seite 186-192. URL: PM:3090868
- [46] Kraus, G. (1995): Einfluss des angewandten Projektmanagements auf die Arbeitszufriedenheit der in einer Projektorganisation integrierten Personen. Eine Felduntersuchung in der Automobilindustrie, Karlsruhe.
- [47] Lockyet, K. und Gordon, J. (1991): Critical Path Analysis and Other Project Network Techniques, 5th ed. Auflage , Pitman Publishing, London.
- [48] Lord, J. (1993): Practical strategies for implementing continuous quality improvement, *Manag.Care Q.* 1 [2], Seite 43-52. URL: PM:10130359
- [49] Luttman, R. J.; Laffel, G. L. und Pearson, S. D. (1995): Using PERT/CPM (Program Evaluation and Review Technique/Critical Path Method) to design and improve clinical processes, *Qual.Manag.Health Care* 3 [2], Seite 1-13. URL: PM:10141769
- [50] Madauss, B. J. (2000): Handbuch Projektmanagement, Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart, ISBN: 3791015184.
- [51] Malcolm, D. G.; Roseboom, J. H.; Clark, C. E. und Fazar, W. (1959): Application of a Technique for Research and Development Program Evaluation, *Operations Research* 7 [5], Seite 646-670.
- [52] Masson, J. (2000):
- [53] Miller, R. W. (1963): Schedule, Cost and Profit Control with PERT, MacGraw-Hill Book Company, Inc., New York.

- [54] Moder, T.; Phillips, F. und Davis, J. (1983): Project Management with CPM, PERT, and Precedence Diagramming, 3d ed. Auflage , Van Nostrand Reinhold, New York, N.Y.
- [55] Müller-Haslach K (1997): Modernes Krankenhaus-Management, Winter UJ; Sabin GV; Röttscher V; Hartmann J und Radermacher D, Thieme, Stuttgart, ISBN: 3-13-104631-7.
- [56] O'Kelly, S. W. und Maxwell, R. (2001): Implementing clinical governance. Medical training should include project management, BMJ 323 [7315], Seite 753. URL: PM:11675730
- [57] O'Neill, J. (2001): Project management, Health Manag.Technol. 22 [6], Seite 32. URL: PM:11409280
- [58] Pack, D. A. (1994): Patient-focused care and the future of radiography, Radiol Technol 65 [6], Seite 375-9.
- [59] Parry, M. H. (1973): Project management-what is it?, Can.Hosp. 50 [4], Seite 42-43. URL: PM:4778969
- [60] Pearson, S. D.; Goulart Fisher, D. und Lee, T. H. (1995): Critical pathways as a strategy for improving care: problems and potential [see comments], Ann Intern Med 123 [12], Seite 941-8.
- [61] Perce, K. H. (1998): Project management skills, AAOHN.J. 46 [8], Seite 391-403. URL: PM:9748920
- [62] Reichert, M (2002): Prozessmanagement im Krankenhaus - Nutzen, Anforderungen und Visionen, Das Krankenhaus 92(11), Seite 903-909.
- [63] Reuss, J.; Weiss, H.; Wanner, T. und Leser, H. G. (1998): Zeitaufwand von ärztlichen und nichtärztlichen Mitarbeitern für Ultraschalluntersuchungen, Ultraschall Med. 19 [3], Seite 126-129. URL: PM:9744044
- [64] Rhea, J. T. (1986): Long-term improvement in cost and quality within hospitals, Hosp Health Serv Adm 31 [4], Seite 64-73.

- [65] Rhea, J. T. und Sztucinski, K. (1993): How to implement a radiology quality improvement program. Pearls and pitfalls, Invest Radiol 28 [7], Seite 639-42.
- [66] Rhea, J. T.; Thrall, J. H.; Saini, S. und Sumner, J. (1994): Improving the efficiency and service of computed tomographic scanning, Acad Radiol 1 [2], Seite 164-70.
- [67] Roos, J. E.; Desbiolles, L. M.; Willmann, J. K.; Weishaupt, D.; Marincek, B. und Hilfiker, P. R. (2002): Multidetector-row helical CT: analysis of time management and workflow, Eur.Radiol. 12 [3], Seite 680-685. URL: PM:11870487
- [68] Rossi, R. P. und Hendee, W. R. (1980): New equipment for room 2210: the critical path method, AJR Am.J.Roentgenol. 134 [5], Seite 1084-1088. URL: PM:6768256
- [69] Ryan, J. E. (1979): Project management teams smooth organizational change, Hosp.Financ.Manage. 33 [5], Seite 26-27. URL: PM:10241347
- [70] Schmidt, J.; Meetz, K. und Wendler, T. (1999): Workflow management systems-- a powerful means to integrate radiologic processes and application systems, J.Digit.Imaging 12 [2 Suppl 1], Seite 214-215. URL: PM:10342219
- [71] Schwarze J (2001): Projektmanagement mit Netzplantechnik, 8. Aufl. Auflage , Verlag Neue Wirtschaftsbriefe GmbH, Herne/Berlin, ISBN: 3482560684.
- [72] Selling BR, Riedl HM (1975): Bibliographie der Netzplantechnik, Aachen.
- [73] Shoemaker WC (1974): Critical Path Medicine, Critical Care Medicine 2, no. 5, Seite 279.
- [74] Souba, W. W. (1996): Professionalism, responsibility, and service in academic medicine [see comments], Surgery 119 [1], Seite 1-8.
- [75] Taylor F.W. (1911): The Principles of Scientific Management, Dover Publications, ISBN: 0486299880.

- [76] Teichgraber, U. K.; Gillessen, C. und Neumann, F. (2003): Methoden des Prozessmanagements in der Radiologie, Rofo 175 [12], Seite 1627-1633. URL: PM:14661132
- [77] Teichgräber, U. K. M.; Benter, T.; Kluhs, L.; Schroder, R. J.; Hidajat, N.; Dorken, B. und Felix, R. (1999): Netzplantechnik zur Zeitplanung bei abdominellen Ultraschalluntersuchungen, Ultraschall Med. 20 [6], Seite 236-241. URL: PM:10670068
- [78] Teichgräber, U. K. M.; Gillessen, C.; Neumann, F.; Clasen, B. und Ricke, J. (2002): Anwendung der Netzplantechnik für die Arbeitsprozessanalyse im klinischen Bereich, Z.ärztl.Fortbild.Qual.sich. 96, Seite 539-544.
- [79] Terhorst, L. L. (1984): National survey of computed tomography unit capacity: an update. Special report, Radiology 153 [1], Seite 207-210. URL: PM:6473781
- [80] Thomas N (1996): Chronisch erfolgreich, Stern 41.
- [81] Venable, S. und Silverman, P. M. (2001): Application of Six Sigma to Healthcare: Improving CT Efficiency, CT Update 1 [1], Seite 5-6.
- [82] Wagner HM (1975): Principles of Operations Research, 2nd ed. Auflage , Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- [83] Weingarten, S. R.; Riedinger, M. S.; Conner, L.; Lee, T. H.; Hoffman, I.; Johnson, B. und Ellrodt, A. G. (1994): Practice guidelines and reminders to reduce duration of hospital stay for patients with chest pain. An interventional trial, Ann.Intern.Med. 120 [4], Seite 257-263. URL: PM:8291818
- [84] Wennberg, J. E.; Blowers, L.; Parker, R. und Gittelsohn, A. M. (1977): Changes in tonsillectomy rates associated with feedback and review, Pediatrics 59 [6], Seite 821-826. URL: PM:865934
- [85] Wickizer, T. M. (1992): The effects of utilization review on hospital use and expenditures: a covariance analysis, Health Serv.Res. 27 [1], Seite 103-121. URL: PM:1563951

- [86] Winter, J. (1978): Efficiency of utilization of a computed tomography scanner, AJR Am.J.Roentgenol. 131 [1], Seite 89-93. URL: PM:97991
- [87] Yandell, B. (1995): Critical paths at Alliant Health System, Qual.Manag.Health Care 3 [2], Seite 55-64. URL: PM:10141773
- [88] Zander, K. (1988): Nursing case management: strategic management of cost and quality outcomes, J.Nurs.Adm 18 [5], Seite 23-30. URL: PM:3367227
- [89] Zander, K. (1992): Focusing on patient outcome: case management in the 90's, Dimens.Crit Care Nurs. 11 [3], Seite 127-129. URL: PM:1597100

PERT:	<i>Program Evaluation and Review Technique</i> (engl.) – Ereignisknoten-Netzplan
RD:	Realistische Dauer
RIS:	Radiologisches Informationssystem
S:	Startereignis
SAZ:	Spätester Anfangszeitpunkt
SEZ:	Spätester Endzeitpunkt
SZ:	Spätester Zeitpunkt
VAR(D)	Varianz der Dauer

7.2 Glossar

Anfangsfolge: Zeitliche Abfolge von Vorgängen. Der Vorgang 1 und der Vorgang 2 haben den gleichen Anfangszeitpunkt.

Auftretenshäufigkeit (Abk.: $n(V)$): Die gemessene Anzahl eines definierten Vorgangs in Bezug auf die insgesamt erhobenen gemessenen Untersuchungen.

CPM (engl.: *Critical Pathway Method*): Methode der Projektplanung zur Ermittlung der zeitkritischen Vorgänge; Vorgangspfeil-Netzplan.

Endfolge: Zeitliche Abfolge von Vorgängen. Dabei endet der Vorgang 1 gleichzeitig mit Vorgang 2.

Ereignis: Zustandsbeschreibung eines Vorgangs, welches keine Zeit verbraucht.

FAZ: Frühester Anfangszeitpunkt eines Vorgangs. Errechnung durch die Vorwärtsrechnung.

FEZ: Frühester Endzeitpunkt eines Vorgangs. Errechnung durch die Addition der Dauer eines Vorgangs zum frühesten Anfangszeitpunkt.

Freie Pufferzeit: Der Zeitunterschied zwischen der zeitbestimmenden und der auf einem anderen Weg berechneten frühesten Lage eines Ereignisses wird angegeben.

Gantry: Ringförmige Röntgeneinheit des Computertomographen

Gesamtpufferzeit: Zeitspanne, die vergehen kann, bis ein nichtkritischer Vorgang zu einem kritischen Vorgang wird.

Häufigste Dauer (HD): Das arithmetische Mittel der gemessenen Dauer jeden Vorgangs.

Kritischer Vorgang: Vorgang, der ohne Auswirkungen auf den Prozessendtermin nicht verzögert werden kann.

Nachfolger: Anschließendes Ereignis nach einem Vorgang.

Normalfolge: Zeitliche Abfolge von Vorgängen. Erst wenn der Vorgang 1 beendet ist, kann der folgende Vorgang 2 anfangen.

Optimistische Dauer (OD): Die kürzestmögliche Dauer eines Vorgangs, gemessen als kleinster Wert.

PERT (engl.: *Program Evaluation and Review Technique*): Methode der Projektplanung zur realitätsnahen Berechnung von Vorgangszeiten; Ereignisknoten-Netzplan.

Pessimistische Dauer (PD): Die längstmögliche Dauer eines Vorgangs, gemessen als größter Wert.

Realistische Dauer (RD): Die anhand der Formel $RD = (4 \cdot HD + OD + PD) / 6$ errechnete Dauer eines Vorgangs. Verwendung in PERT.

Rückwärtsrechnung: Die jeweils spätesten Ereigniszeitpunkte jedes Vorgangs im Ablaufplan werden vom Ende durch Subtraktion errechnet. Somit werden die kritischen Vorgänge ausgewiesen.

Sammelvorgang: Ein Sammelvorgang besteht aus Teilvorgängen und fasst diese Teilvorgänge zusammen.

SAZ: Spätester Anfangszeitpunkt eines Vorgangs. Errechnung durch die Subtraktion der Dauer eines Vorgangs von dem spätesten Endzeitpunkt.

Scheinvorgang: Hilfsgröße im CPM, welche eine Abhängigkeit zwischen zwei Vorgängen aufzeigt, ohne selbst Zeit zu verbrauchen.

Schlupf (SL(i)): Beschreibung des Zeitraums, um den ein Ereignis auf später verschoben werden kann, ohne die Gesamtdauer der Untersuchung zu verlängern: $SL(i) = SAZ(i) - FAZ(i)$.

SEZ: Spätester Endzeitpunkt eines Vorgangs. Errechnung durch die Rückwärtsrechnung.

Technischer Faktor: Technischer Versorgungsfaktor, der Filme, Wäsche, Chemie und Kontrastmittel auffüllen sowie Spritzen und Bildspeicher-CD wechseln umfasst.

Varianz (VAR(D)): Die Varianz einer Dauer in PERT. Errechnet anhand der Formel $VAR(D) = ((PD - OD) / 6)^2$.

Vorgang: Zeiterforderndes Geschehen im Projektablauf, welches über einen Anfangszeitpunkt und einen Endzeitpunkt verfügt.

Vorgänger: Vorausgehendes Ereignis vor einem Vorgang.

Vorwärtsrechnung: Die jeweils frühesten Anfangszeitpunkte jedes Vorgangs im Ablaufplan werden vom Anfang durch Addition errechnet. Somit wird die kürzestmögliche Gesamtprojektdauer errechnet.

7.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1: Auswirkungen und Vorteile der Netzplantechnik (CPM/PERT)	15
Tabelle 2-1: Die Phasen zur Erstellung eines Prozessmodells	21
Tabelle 2-2: Anzahl der gemessenen Untersuchungen	30
Tabelle 3-1: Vorgänge des Arztes	34
Tabelle 3-2: Vorgänge der MTRA 1	35
Tabelle 3-3: Vorgänge der MTRA 2	35
Tabelle 3-4: Vorgänge des Arztes: PERT-Berechnungen	36
Tabelle 3-5: Vorgänge der MTRA 1: PERT-Berechnungen	37
Tabelle 3-6: Vorgänge der MTRA 2: PERT-Berechnungen	38
Tabelle 3-7: Vorgänge des Arztes: CPM nach Projektoptimierung	44
Tabelle 3-8: Vorgänge der MTRA 1: CPM nach Projektoptimierung	45
Tabelle 3-9: Vorgänge der MTRA 2: CPM nach Projektoptimierung	45
Tabelle 3-10: Zeiten der Sammelvorgänge und Gesamtdauer vor und nach Projektoptimierung	46
Tabelle 3-11: Realistische und optimistische Durchführungszeit vor und nach Netzplanberechnung	49
Tabelle 3-12: Vergleich der Durchführungszeiten für Kopfuntersuchung im CT S und CT 4 nach Netzplanberechnung	51
Tabelle 4-1: Kritische Vorgänge am Computertomographen	57

7.4 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Grundriss CT S	18
Abbildung 2-2: Grundriss CT 4	19
Abbildung 2-3: Beta-Verteilung der PERT-Methode	24
Abbildung 2-4: Grundstrukturen eines Ereignisknoten-Netzplans	25
Abbildung 2-5: Abbildung eines CPM-Netzplans	26
Abbildung 2-6: Die zeitliche Lage eines Vorganges	27
Abbildung 3-1: Prozessübersicht einer CT-Untersuchung	32
Abbildung 3-2: Histogramm der Verteilung der gemessenen Zeitdauer des Vorganges 3g - Untersuchung durchführen	39
Abbildung 3-3: Rohplan vor Prozessoptimierung	41
Abbildung 3-4: Realistischer Vorgangsplan nach Projektoptimierung	43
Abbildung 3-5: Zeiten der Sammelvorgänge und Gesamtdauer vor und nach Projektoptimierung	47
Abbildung 3-6: Vergleich der realistischen und optimistischen Durchführungsdauer bei unterschiedlichen Patientenkategorien	48
Abbildung 3-7: Gemessene und realistische Durchführungszeiten für Kopfuntersuchungen im CT S und CT 4	50
Abbildung 3-8: Vergleich der Durchführungszeiten für Kopfuntersuchung im CT S und CT 4 nach Netzplanberechnung	51
Abbildung 4-1: Optimierter Vorgangsknotenplan	58
Abbildung 4-2: Nutzeffekte von Workflow-Management	64

7.5 Lebenslauf

Persönliche Daten

Name: Fabian Neumann
Wohnort: Greifswalder Str. 219
10405 Berlin
E-Mail: fabian_neumann@web.de
Geburtsdatum/-ort: 01.09.1973 / Wiesbaden
Familienstand: ledig

Schulbildung

08/1980 – 03/1981 Grundschule Engelbert-Humperdinck-Schule in Frankfurt/Main
04/1981 – 08/1984 Grundschule Pliensauschule in Esslingen/Neckar
09/1984 – 05/1993 Georgii-Gymnasium in Esslingen/Neckar mit Abschluss Abitur
06/1990 – 12/1990 Hastings Senior High School in Hastings, Minnesota, USA

Zivildienst

07/1993 – 06/1994 Tätigkeit als Altenpfleger in der Spitalstiftung Konstanz
07/1994 – 08/1994 Tätigkeit als Krankenpfleger in den Krankenanstalten in Konstanz

Studium

10/1994 – 09/1996 Studium der Vorklinik an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
mit Abschluss Ärztliche Vorprüfung
10/1996 – 09/2000 Studium der Klinik an der Humboldt-Universität zu Berlin mit
Abschluss 2. Staatsexamen
10/2000 – 02/2001 Praktische Ausbildung im Wahlfach Radiologie im Department of
Radiology am Massachusetts General Hospital in Boston, USA
02/2001 – 06/2001 Praktische Ausbildung in Innerer Medizin in der Abteilung für
Infektiologie und Pulmologie an der Universitätsklinik Charité
Campus Virchow-Klinikum in Berlin
06/2001 – 09/2001 Praktische Ausbildung in Chirurgie in den Abteilungen Gefäß- und
Unfallchirurgie am Krankenhaus im Friedrichshain in Berlin
10/2001 Abschluss des Studiums der Humanmedizin: 3. Staatsexamen

Auslandsstudium

- 09/1997 – 08/1998 Faculté de Médecine Necker-Enfants-Malades, Université René Descartes in Paris, Frankreich
- 10/2000 – 02/2001 Harvard Medical School in Boston, USA

Weiterbildung

- 02/2002 – 08/2003 Arzt im Praktikum in der Klinik für Strahlenheilkunde der Charité Campus Virchow-Klinikum in Berlin
- 08/2003 Approbation als Arzt
- seit 08/2003 Wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Klinik für Strahlenheilkunde der Charité Campus Virchow-Klinikum in Berlin

Veröffentlichungen

- 10/2000 Teichgräber UK, Neumann F, Boeck J, Ricke J, Felix R. Process management in computed tomography: using critical pathway method to design and improve work flow in computed tomography. Eur Radiol. 2000; 10 Suppl 3: S370-6.
- 08/2002 Teichgräber UK, Gillessen C, Neumann F, Clasen B, Ricke J. Anwendung der Netzplantechnik für die Arbeitsprozessanalyse im klinischen Bereich. Z ärztl Fortbild Qual sich. 2002; 96: 539-44.
- 12/2003 Teichgräber UK, Gillessen C, Neumann F. Methoden des Prozessmanagements in der Radiologie. Rofo Fortschr Geb Rontgenstr Neuen Bildgeb Verfahr. 2003 Dec; 175(12): 1627-33.
- 12/2003 Gillessen C, Teichgräber UK, Neumann F, Ricke J, Felix R. Prozesssimulation zur prospektiven Nutzwertanalyse einer voll digitalisierten Arbeitsumgebung am Beispiel eines sonographischen Arbeitsplatzes. Rofo Fortschr Geb Rontgenstr Neuen Bildgeb Verfahr. 2003 Dec; 175(12): 1697-705.

Kongresse

- | | |
|---------|---|
| 10/1999 | Process Management in Computed Tomography. European Students Conference at the Charité, Berlin |
| 06/2000 | Verwenden der Critical Pathway Methode zum Entwerfen und Verbessern von Arbeitsabläufen in der Computertomographie. Deutscher Röntgenkongress, Wiesbaden |
| 11/2001 | Assessment of Efficiency of CT Operations: The Use of Critical Pathway Method and Program Evaluation Review Technique. RSNA, Chicago, USA |
| 05/2003 | In Vitro Vergleich der T2-Relaxivität von Eisenoxidpartikeln im MRT bei 1,5 und 3 Tesla. Deutscher Röntgenkongress, Wiesbaden |
| 09/2003 | Can MR imaging of the prostate at 3.0-T with phased-array coil compete with a combined phased-array/endorectal coil approach at 1.5-T? International Symposium on Highfield MR in Clinical Applications, Bonn |

7.6 Danksagung

Für die Überlassung des Themas dieser Arbeit gilt mein Dank Herrn PD Dr. med. Johannes Böck. Seine Anleitung in allen wissenschaftlichen Belangen und die kritische Hilfestellung bei der Abfassung dieser Arbeit gewährleisteten das Gelingen dieses Wissenschaftsprojekt in hervorragender Weise.

Ganz besonderen Dank möchte ich Herrn Dr. med. Ulf Teichgräber aussprechen. Ohne seine engagierte Betreuung und Unterstützung wäre eine Verwirklichung dieses Promotionsvorhabens nicht denkbar gewesen. Nicht nur seine wissenschaftliche Betreuung in allen denkbaren Fragestellungen, sondern auch seine freundschaftliche Zuwendung haben mir geholfen, diese Arbeit durchzuführen.

Ich danke auch den MTRA und Ärzten der Klinik für Strahlenheilkunde, die sich über Monate motiviert und engagiert beobachten und bemessen ließen.

Viel Dank gilt ebenso den studentischen Hilfskräften, die akribisch bei der Durchführung der Messungen geholfen haben.

Zu guter Letzt danke ich allen Kollegen und Freunden, insbesondere Frau Dr. med. Antonia Schmid, die durch Rat und Unterstützung zum Erfolg dieser Arbeit beitrugen.

Ich widme diese Arbeit meinen Eltern, die mich in meinen Aktivitäten vertrauensvoll unterstützt haben.

7.7 Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, Fabian Neumann, geb. am 01.09.1973 in Wiesbaden, an Eides statt, dass die vorliegende Dissertation von mir selbst und ohne die unzulässige Hilfe Dritter verfasst wurde, auch in Teilen keine Kopie anderer Arbeiten darstellt und die benutzten Hilfsmittel sowie die Literatur vollständig angegeben sind.

Berlin, den 19.01.2004